

## APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA DIAGNÓSTICO E REMEDIAÇÃO DE LIXÕES DE RSU NA ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE

Ailton João Gonçalves Moreira

Florianópolis, 2018

Ailton João Gonçalves Moreira

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA  
DIAGNÓSTICO E REMEDIAÇÃO DE LIXÕES DE RSU NA  
ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE**

Trabalho submetido à Banca  
Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental–TCC II  
Orientador: Prof. Dr. Armando Borges  
Castilhos Junior  
Coorientador: Prof. Juliano Cunha  
Gomes

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Moreira, Ailton João Gonçalves

Aplicação de Ferramenta de Apoio à Decisão para diagnóstico e remediação de lixões de RSU na ilha de Santiago - Cabo Verde / Ailton João Gonçalves Moreira ; orientador, Armando Borges Castilhos Junior, coorientador, Juliano Cunha Gomes, 2018.

93 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Lixões. 3. Remediação de lixões. 4. Avaliação ambiental. I. Castilhos Junior, Armando Borges . II. Gomes, Juliano Cunha . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Ailton João Gonçalves Moreira

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE APOIO À  
DECISÃO PARA DIAGNÓSTICO E REMEDIAÇÃO DE  
LIXÕES DE RSU NA ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para  
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental-  
TCC II

Florianópolis, 4 de Dezembro de 2018.

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Juliano Cunha Gomes  
(Coordenador)  
Instituto Federal de Santa Catarina

  
Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Alexandre Lioi Nascentes, Dr.  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



*Nha kaminhu mi ki ta fasi  
Nha stória mi ki ta skrebi  
Un pé li, un pé la  
Ta ki N ta xinti  
Dja-m txiga la!*

Ailton Moreira



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Convênio PEC-G e à Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade que me deram de fazer este curso no Brasil.

À FICASE, pelo apoio financeiro fornecido nestes anos do curso.

Agradeço a todos os meus professores e colegas que de forma direta ou indireta contribuíram para a minha formação, em especial os professores Armando Borges Castilhos Junior e Juliano Cunha Gomes, pela orientação e coorientação, respectivamente, e todo incentivo e suporte dado na realização deste trabalho.

À ANAS, na pessoa de Joana Mendonça, pela disponibilidade e destreza dada a esta pesquisa, acompanhando inclusive, a visita à campo.

Por fim, mas não menos importante, quero endereçar os meus agradecimentos a meus pais, João e Maria, pela vida e educação que me deram. Sem o enorme esforço por parte deles, eu não estaria concluindo esta etapa. Apesar da distância que nos separa, sempre estiveram presentes com conselhos e apoios, nestes anos do curso. Palavras não chegam para expressar minha gratidão. É a vocês que dedico este trabalho.

A todos os demais familiares, em especial as minhas irmãs Jaelsa, Eunice e Evandra, que estiveram sempre por perto, apoiando-me incondicionalmente.

A Nélida, pelo companheirismo nestes anos todos, dando-me o suporte necessário durante esta caminhada.





## RESUMO

Em países em desenvolvimento, a disposição dos resíduos sólidos urbanos em lixões ainda é uma realidade, podendo causar sérios impactos ambientais e problemas de saúde pública. Em Cabo Verde, a maioria dos municípios depositam seus resíduos em lixões. A ilha de Santiago dispõe de um aterro sanitário em vias de operação. Com a sua entrada em funcionamento, todos os municípios da ilha encaminharão seus resíduos a esse local, possibilitando assim, a remediação dos seus lixões. Neste contexto, esta pesquisa tem por objetivo fazer o diagnóstico dos lixões dessa ilha, de modo a hierarquizar-los por ordem decrescente de prioridades de remediação, bem como propor cenários e técnicas de remediação para cada um deles, usando Ferramentas de Apoio à Decisão (FAD). Para a aplicação dessa FAD fez-se o levantamento dos dados a partir da visita a esses locais e aplicação de um questionário de campo. Com a FAD elaborou-se o diagnóstico dos lixões, propôs-se os cenários e as técnicas de remediação para cada um deles. Os resultados demonstram uma semelhança entre os três lixões avaliados tendo todos um impacto “Médio”. Entretanto, para dois dos lixões diagnosticados, os cenários de remediação sugeridos foram o “Confinamento dos resíduos” e para um, a “Retirada dos resíduos”. A FAD mostrou ser um importante instrumento de auxílio à tomada de decisão relativamente às áreas contaminadas por resíduos sólidos urbanos na ilha de Santiago – Cabo Verde.

**Palavras-chave:** Lixões. Remediação de lixões. Avaliação ambiental.



## ABSTRACT

In developing countries, the disposal of municipal solid waste in landfills is still a reality and can cause serious environmental impacts and public health problems. In Cape Verde most of the municipalities deposit their waste in dumps. The island of Santiago has a landfill in operation. With its entry into operation, all the municipalities of the island will send their waste to this place, thus enabling the recovery of their dumps. In this context, this research aims to diagnose dumps on this island, in order to rank them in descending order of recovery priorities, as well as to propose recovery scenarios and techniques for each of them, using Decision Support Tools. For the application of this tool, the data were collected based on the visit to these sites and the application of a field questionnaire. With the tool the diagnosis of the dumps was elaborated, the recovery scenarios and techniques were proposed for each of them. The results demonstrate a seedling between the three dumps evaluated, both having a "Medium" impact. However, for two of the diagnosed dumps, the suggested recovery scenarios were "Residue Confinement" and for one, "Residue withdrawal". The decision support tool proved to be an important instrument to aid decision making in areas contaminated by solid urban waste on the island of Santiago - Cape Verde.

**Keywords:** Illegal dumping sites. Remediation of old dump sites. Environmental assessment.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principal modo de destinação dos resíduos sólidos (%) em Cabo Verde.....	24
Figura 2 - Principais impactos ambientais resultantes dos lixões. ....	35
Figura 3 - Principais etapas da degradação dos resíduos sólidos. ....	37
Figura 4 - Processos característicos da incineração, gaseificação e pirólise.....	52
Figura 5 - Localização dos Lixões diagnosticados na Ilha de Santiago-Cabo Verde.....	55
Figura 6 - a) Lixão Municipal da Praia; b) Lixão Municipal de Santa Cruz; c) Lixão Municipal de Santa Catarina. ....	56
Figura 7 - Situações possíveis de serem identificadas de acordo com a FAD.....	58
Figura 8 - Fluxograma de indicação do cenário pela FAD.....	60



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo do diagnóstico feito nos três lixões de Cabo Verde. ....	63
Quadro 2 - Questões de maior impacto em cada categoria dos lixões diagnosticado pela FAD. ....	65
Quadro 3 - Cenários e tecnologias de remediação sugeridas para os lixões da ilha de Santiago, Cabo Verde. ....	67





## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Níveis de impacto estabelecidos pela FAD. ....	58
--	----



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

FAD – Ferramenta de Apoio à Decisão

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

INE – Instituto Nacional de Estatística

LMF - *Landfill mining*

PENGeR – Plano Estratégico Nacional de Prevenção e Gestão de Resíduos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS .....	26
1.1.1	Objetivo Geral .....	26
1.1.2	Objetivos Específicos .....	26
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>29</b>
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	29
2.1.1	Definição e classificação.....	29
2.2	DISPOSIÇÃO FINAL DO RSU .....	30
2.2.1	Disposição de RSU em Lixões .....	31
2.2.1.1	Impactos Sociais e Econômicos .....	32
2.2.1.2	Impactos Ambientais.....	33
2.2.1.2.1	<i>Poluição das Águas Subterrâneas, Superficiais, Solo e Ar</i>	<i>34</i>
2.2.1.2.2	<i>Degradação Bioquímica da Matéria Orgânica</i>	<i>35</i>
2.2.2	Aterro sanitário .....	37
2.3	ÁREAS DEGRADADAS E GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS .....	41
2.3.1	Recuperação de áreas degradadas por disposição de RSU	43
2.3.2	Técnicas de desativação dos lixões .....	44
2.3.2.1	Conversão em aterro sanitário.....	47
2.3.3	Uso futuro da área.....	47
2.3.4	Mineração de aterros .....	48
2.3.4.1	Processos térmicos de recuperação energética dos RSU	50
2.4	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO .....	52
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>55</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	55
3.2	A ESCOLHA DA FERRAMENTA.....	56

3.3	COLETA DE DADOS: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	60
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
4.1	DIAGNÓSTICO DOS LIXÕES .....	63
4.2	CENÁRIOS E TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO.....	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO A – Questionário de campo para diagnóstico de lixões.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O acondicionamento, coleta, transporte e destinação final dos resíduos são reportados como sendo um dos maiores problemas dos centros urbanos, sendo os países africanos igualmente atingidos por esse problema (OKOT-OKUMU, 2011). Segundo Bello, Ismail e Kabbashi (2016), em grande parte dos países africanos ainda se testemunham práticas de gestão/gerenciamento de resíduos relativamente simplificadas, caracterizadas pelo descarte indiscriminado dos resíduos em corpos d'água e locais isolados, tornando dessa maneira ainda mais graves os seus baixos níveis de saneamento básico.

A África, apesar de ser conhecida como a região menos desenvolvida do mundo, com 38% de urbanização, tem presenciado um rápido crescimento a uma taxa de aproximadamente 4% ao ano. Com isso, os países africanos são confrontados com uma grande quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que têm efeitos diretos sobre a saúde humana, segurança e meio ambiente (BELLO; BIN ISMAIL; KABBASHI, 2016). Segundo estes mesmos autores, a maioria das cidades destes países não estão tecnicamente e infra estruturalmente preparadas para esse rápido crescimento urbano especialmente nas periferias.

A geração de resíduos na África subsaariana, em particular, chega aos 62 milhões de toneladas por ano, sendo que a produção per capita varia entre 0,09 a 3,0 kg/capita/dia (quilograma por pessoa por dia) sendo a média de 0,65 kg/capita/dia. Projeta-se que até 2025 a geração per capita atinja os 0,85 kg/dia. Nesta região, as ilhas oceânicas são as que têm maiores produções per capita de resíduos provavelmente por causa do turismo e uma contabilidade mais completa de todos os resíduos gerados (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). No caso particular de Cabo Verde, um arquipélago situado na costa ocidental africana e parte da região da África subsaariana, a geração per capita de resíduos foi de 0,5 kg/capita/dia em 2012 e estima-se que até 2025 esse número chegue a 0,7 kg/capita/dia (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Com uma população de cerca de 500 mil habitantes, perspectiva-se um crescimento populacional em torno de 1,2% ano até 2030, tendo como consequência, aumento na produção de RSU (INE, 2017).

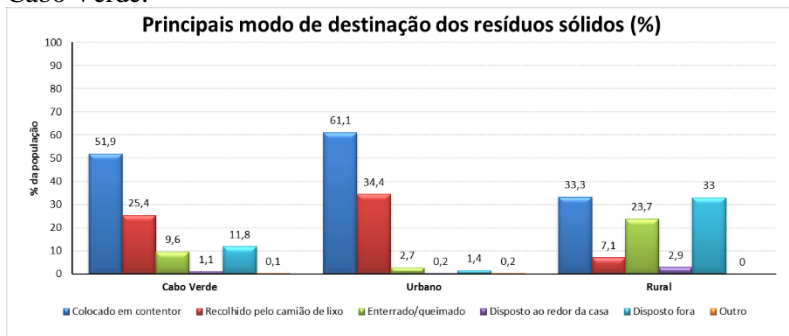
Especificamente, Cabo Verde vem passando por profundas mudanças no setor de RSU, muito por conta do aumento das preocupações por parte dos órgãos ambientais relativamente à proteção ambiental de um ecossistema frágil como é o caso dessas ilhas. Essas



preocupações culminaram na aprovação recente do Plano Estratégico Nacional de Prevenção e Gestão dos Resíduos (PENGeR), documento norteador da política ambiental relacionada aos resíduos sólidos urbanos no país.

O PENGeR, que apresenta um horizonte de 15 anos com atualizações a cada 5 anos, está focado na produção, gestão e prevenção de resíduos urbanos e também nas outras tipologias de resíduos, de relevância nacional, nomeadamente as relacionadas ao setor empresarial (indústria, comércio e serviços) e cuidados de saúde (resíduos hospitalares) (CABO VERDE, 2016). Segundo dados do Instituto Nacional de Estatísticas (INE, 2017), em Cabo Verde cerca de 77,3% da população é contemplada pela coleta dos resíduos seja ela conteneirizada ou porta-a-porta pelo camião de lixo e aproximadamente 22,6% da população descarta seus resíduos de forma inadequada no ambiente, conforme apresentado na Figura 1. Esta situação que leva a formação de pequenos locais de disposição não controlada de RSU. Quase a totalidade dos resíduos coletados têm como destino final os lixões, uma vez que iniciativas de coleta seletiva e valorização dos resíduos são ainda incipientes no país.

Figura 1 - Principal modo de destinação dos resíduos sólidos (%) em Cabo Verde.



Fonte: INE (2017)

De acordo com o PENGeR, existem oficialmente 17 lixões e 1 aterro controlado, geridos pelas Divisões Municipais de Saneamento, servindo os 22 municípios do país e 152 locais de deposição não controladas identificadas. Portanto, tem-se que os lixões ainda são a principal forma de destinação final de resíduos em quase totalidade dos municípios do país (CABO VERDE, 2016). Desde 2015, a ilha de

Santiago dispõe de um Aterro Sanitário Intermunicipal gerido por uma empresa público-privada (Praia Ambiente), localizado no município de São Domingos, e onde se prevê a recepção dos RSU provenientes de todos os municípios da ilha (CABO VERDE, 2016). Com a entrada em funcionamento desta infraestrutura, os municípios beneficiados deixarão de encaminhar os seus resíduos para os lixões, possibilitando desta forma o fechamento/encerramento destes locais para a sua devida reabilitação.

A Lixeira<sup>1</sup> Municipal da Praia, local de disposição final dos RSU da capital do país, recebe, também, resíduos de pequenos municípios do entorno, nomeadamente Ribeira Grande de Santiago e São Domingos. O local, que é considerado um dos maiores lixões do país, sofreu algumas modificações a fim de reduzir os impactos ao ambiente e à saúde pública no ano de 2011. O Município de Santa Catarina, no interior da ilha de Santiago também faz a disposição final dos RSU em um lixão. Inicialmente o local era um aterro controlado, mas com o passar dos anos a área do lixão praticamente duplicou e perdeu-se o controle na disposição dos resíduos, causando atualmente significativos impactos às comunidades do entorno. A Lixeira oficial de Santa Catarina de Santiago recebe resíduos do próprio município e igualmente recebe resíduos do município de São Salvador do Mundo. Um outro lixão que tem suscitado preocupação por parte dos órgãos ambientais é o situado no Município de Santa Cruz. Por se situar em uma área de especial importância para a expansão do município, perto do mar e de comunidades, este lixão é uma das prioridades no processo de encerramento dos locais de destinação final inadequada dos RSU na ilha de Santiago. Este lixão recebe resíduos do próprio município e também resíduos do município de São Lourenço dos Órgãos. Os restantes municípios, nomeadamente São Miguel e Tarrafal gerenciam seus próprios lixões.

De acordo com alguns critérios relacionados com as ações de gestão e controle dos lixões oficiais, como existência de cercas, efetivação do controle de acesso ao local (existência de guardas), controle ou registro de caminhões que descarregam resíduos na infraestrutura, pesagem dos caminhões e outros critérios como registro das operações, entidades ou tipologias de resíduos, determinou-se o nível de desempenho destes locais de deposição final de RSU, podendo ser ‘alto’, ‘médio’, ‘incipiente’ e ‘inexistente’. Segundo os critérios supracitados, os lixões geridos pelas entidades dos municípios de Santa

---

<sup>1</sup> Lixeiras: o mesmo significado que lixões ou vazadouros

Catarina de Santiago e São Miguel foram classificados como ‘inexistente’, aqueles geridos pelas entidades dos municípios da Praia e Santa Cruz como ‘incipiente’, enquanto o gerido pela entidade do município de Tarrafal de Santiago como ‘médio’ (CABO VERDE, 2016). Assim sendo, um dos objetivos do PENGeR é otimizar a deposição definitiva de resíduos. Para alcançar tal objetivo foram estabelecidas três metas:

Assegurar o encerramento em Cabo Verde de 100% das lixeiras não controladas até 2020;  
Efetuar, até 2030, o encerramento de 100% das lixeiras oficiais em utilização e proceder à requalificação dos espaços;  
Assegurar, até 2030, o encaminhamento para aterro de 100% dos resíduos não valorizados (CABO VERDE, 2016, p. 103).

Para se atingir as metas estabelecidas é importante o diagnóstico dos lixões de modo a conhecer seus níveis de impacto e suas características peculiares, permitindo que se estabeleçam prioridades no processo de encerramento, bem como avaliar os melhores cenários e técnicas de remediação para cada um deles. Desta forma, este trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico dos lixões através da aplicação de um questionário de campo e sua posterior análise com o auxílio de uma Ferramenta de Apoio à Decisão (FAD).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é aplicar uma Ferramenta de Apoio à Decisão (FAD) no diagnóstico dos lixões da Ilha de Santiago - Cabo Verde, bem como gerar cenários de remediação para cada um deles.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os lixões da ilha de Santiago e fazer o levantamento de dados necessários ao diagnóstico dos mesmos;
- Aplicar uma Ferramenta de Apoio à Decisão que permita o diagnóstico de lixões e propor cenário remediação.

- Hierarquizar os lixões em nível de impacto ambiental, de modo a colaborar para implementação de estratégias de remediação dos mesmos.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS**

#### **2.1.1 Definição e classificação**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10004/2004:

Resíduos sólidos são os resíduos em estado sólido ou semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p.1).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), os resíduos são definidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Quanto à classificação de resíduos sólidos, a ABNT (2004) os classifica, conforme os riscos potenciais ao ambiente, em resíduos perigosos e não perigosos. Os primeiros são os materiais que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade,

reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os segundos, por sua vez, são aqueles que não apresentam as propriedades supracitadas podendo, ainda, ser subdivididos em não inertes e inertes. Os não inertes são os resíduos que apresentam as propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e os inertes são aqueles que conforme NBR 10006 não tiverem nenhum dos seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade. A classificação dos resíduos é:

- a) Resíduos classe I - Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos;
  - Resíduos classe II A – Não inertes.
  - Resíduos classe II B – Inertes.

## 2.2 DISPOSIÇÃO FINAL DO RSU

De acordo com Monteiro et al. (2001), integram-se os o sistema de limpeza urbana, as etapas de geração, acondicionamento, coleta, transporte, transferência, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, além da limpeza de logradouros públicos. Segundo Monteiro et al. (2001), o fato da a disposição final não ser, em geral, visível aos olhos da população, a mesma é relegada para segundo plano por parte das municipalidades, dando prioridade a limpeza pública. Com isso, o lixo coletado é muitas vezes lançado diretamente sobre o solo sem qualquer controle e cuidados ambientais, causando significativos impactos ao ambiente e à saúde pública.

A disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos é, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010). No entanto, existem outras formas de disposição final bastante usuais, mas que não são, segundo a PNRS, ambientalmente adequadas. Ainda para Monteiro et al. (2001), no Brasil, a disposição final é feita majoritariamente em lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Os dois primeiros não são considerados formas de disposição final ambientalmente adequadas.

O aterro controlado é uma forma inadequada de disposição final, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no Panorama dos Resíduos

Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2016). O mesmo apresenta falhas ou faltas, tais como impermeabilização do fundo, não recolhimento e tratamento do percolato, não coleta dos gases produzidos e consequente queima ou aproveitamento, não recobrimento com camada de terra ao final da jornada diária de trabalho, entre outros aspectos. Além dos impactos ambientais, tais falhas podem representar riscos à saúde humana devido a exposições a concentrações acima dos limites aceitáveis, por vias de exposição como solo, águas subterrâneas e ar (OBLADEN; OBLADEN; BARROS, 2009; PORFÍRIO; GOMES; JANISSEK, 2014).

### **2.2.1 Disposição de RSU em Lixões**

O lixão ou vazadouro a céu aberto é uma forma de disposição do lixo, a céu aberto, sobre o terreno, sem qualquer cuidado, técnicas ou medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública (IBGE, 2010). Não possuindo nenhuma impermeabilização, sistema de drenagem de lixiviados e de gases e nem cobertura diária do lixo, os lixões são portanto, uma fonte potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar e propicia a proliferação de vetores de doenças (ZANTA; FERREIRA, 2003; VAN ELK, 2007; DANTHUREBANDARA et al., 2012).

Apesar de ser uma forma de destinação final que em geral pode ser fácil e de baixo custo, para Butt, Lockley e Oduyemi (2008), a disposição final de RSU em lixões acarreta sérios problemas ambientais. Apesar dos graves impactos causados por lixões, estes continuam sendo uma das principais formas de disposição de resíduos em países em desenvolvimento. Segundo Rushbrook (2001<sup>2</sup> apud JOSEPH; VISNATHAN, 2015), três quartos dos países e territórios do mundo ainda depositam seus resíduos em lixões. Em países pobres e de desenvolvimento médio, a maior parte das despesas do gerenciamento dos resíduos é na coleta, sendo que apenas uma pequena fração é destinada à disposição final, ao contrário do que acontece em países desenvolvidos. Isto se deve às fracas tecnologias aplicadas na destinação final, sendo os lixões a prática mais comum (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

---

<sup>2</sup> Rushbrook, P. (2001). Guidance on Minimum Approaches for Improvements to Existing Municipal Waste Dumpsites, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.



Conforme apresentado no relatório “*Waste Atlas 2014*”, dos 50 maiores lixões existentes, a maioria estão situados em países da África, América Latina, Caribe e norte da Ásia, locais onde vivem mais de dois terços da população mundial (MAVROPOULOS et al., 2014). Estes lixões são localizados em sua maioria nos ambientes mais sensíveis como planícies e áreas úmidas, perto de florestas e corpos d’água (OKOT-OKUMU, 2011). Em Cabo Verde, quase a totalidade dos municípios encaminham seus resíduos aos lixões municipais, além da existência de centenas de locais de disposição não controladas identificadas (CABO VERDE, 2016). No Brasil, por sua vez, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) ter determinado o encerramento dos lixões até 2014 (meta não alcançada) enviou-se cerca de 29,7 milhões de toneladas de resíduos aos lixões ou aterros controlados, correspondendo a 41,6% dos resíduos coletados no ano 2016 (ABRELPE, 2016).

### 2.2.1.1 Impactos Sociais e Econômicos

Os lixões causam impactos sociais e econômicos, na medida em que se tornam atrativos para populações de baixa renda que buscam alternativas de trabalho na catação de materiais recicláveis do lixão estando os mesmos em contato com todo tipo de resíduo e susceptíveis a acidentes inerentes a essa atividade (CASTILHOS JÚNIOR. et al., 2013; RAMOS, 2016). De acordo com Monteiro et al. (2001), a redução na oferta de empregos, concentração de atividades econômicas no setor terciário e desativação de frentes de trabalhos na construção civil, ocorre o desemprego de grande parte da população de baixa qualificação profissional, levando-os a apelar por qualquer tipo de trabalho para garantir sua sobrevivência e a dos familiares. Segundo Coelho e Sales (2017), pessoas extremamente carentes que encontram nestes ambientes insalubres um meio de vida, na busca por recicláveis para comercialização, e alimentam-se ainda dos restos de comida que ali se encontram, submetendo-se às condições de vida sub-humanas, que ferem à dignidade do ser humano, configura um problema da ordem de saúde pública.

Assim, a formalização de grupos de catadores se faz necessário, por forma a melhorar a eficiência dos serviços prestados, fazer com que cumpram as regulações de segurança e saúde e protegendo-os contra explorações (OKOT-OKUMU, 2011). Além dos aspectos sociais, segundo Danthurebandara et al. (2012), os locais de disposição final de

RSU também causam desvalorização, degradação e disponibilidade da terra nos seus arredores e cita que alguns estudos mostraram que o público evita morar nesses locais muito por culpa das moscas, cheiro, fumaça, barulho e ameaças ao fornecimento de água, causando portanto sérios impactos na economia local.

#### 2.2.1.2 Impactos Ambientais

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986), impacto ambiental é considerado:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

Já de acordo com a ABNT (2015) o impacto ambiental é entendido como sendo “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização”. Em ambas definições acima, está claro que impacto ambiental é derivado das atividades humanas, sendo, portanto, excluídos os impactos ambientais de outras origens. Desta forma, os lixões causam impactos ambientais pois são resultantes das atividades humanas que modificam a qualidade ambiental. É neste contexto que os problemas ambientais associados aos lixões estão relacionados com as emissões de poluentes por parte do mesmo, devido a processos físicos, químicos e biológicos de degradação dos resíduos ali depositados. Acúmulo de lixo, infestações por insetos, emissão de odores, fumaça resultante da queima de resíduos, presença de catadores, entre outros, são algumas das situações bastante comuns nos lixões de RSU (SANKOH; YAN; TRAN, 2013; DANTHUREBANDARA et al., 2012).

### 2.2.1.2.1 *Poluição das Águas Subterrâneas, Superficiais, Solo e Ar*

Lixiviado é um líquido resultante da umidade natural e da percolação de água de chuva na massa de resíduos, somado a materiais dissolvidos e em suspensão. É um líquido, portanto, resultante da interação entre o processo de biodegradação da fração orgânica dos resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos, apresentando características como: cor escuro, odor desagradável e elevada carga orgânica e inorgânica. O lixiviado pode conter também constituintes biológicos e químicos dos resíduos (MORAVIA, 2010; CASTILHO JUNIOR et al., 2003; MAVROPOULOS, 2015).

A poluição do ar se dá por duas vias principais: a queima do lixo e a degradação anaeróbica da fração de matéria orgânica que compõe os RSU (EZYSKE; DENG, 2012). A fumaça expelida contém dioxinas que são carcinogênicos e estão associados com os defeitos de nascença. A queima dos resíduos pode igualmente liberar hexaclorobenzeno no ambiente que é um outro poluente muito persistente no ar, de baixa degradabilidade e passível de bioacumulação e bioamplificação nos organismos vivos (MAVROPOULOS, 2015).

A decomposição dos resíduos também produz gases, que são uma mistura de essencialmente metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume), chamado de biogás. Este pode conter ainda, conforme substrato, pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases traço (FNR, 2010). O metano produzido é mais leve do que o ar e mais inflamável. Além disso, o metano liberado para a atmosfera contribui gradativamente para a depleção da camada de ozônio e às alterações climáticas, uma vez que este é 21 vezes mais poluente em comparação com o carbono (USEPA, 2018).

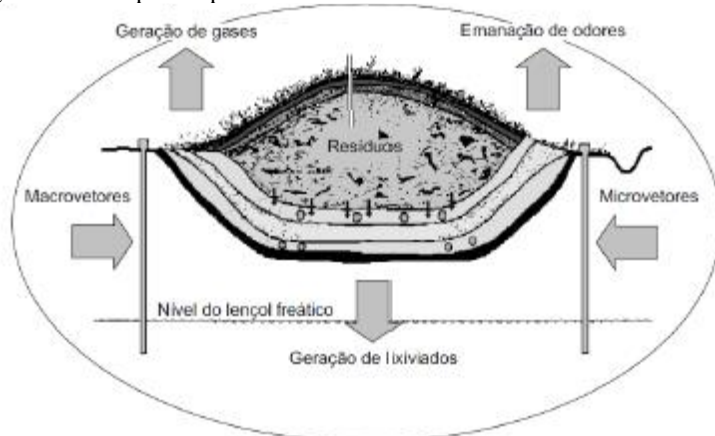
Segundo Gill et al. (1999), é de especial importância que se implementem instrumentos de controle da migração dos gases produzidos, principalmente quando se tem construções perto destes locais, devido à possibilidade de acúmulo dos gases que podem causar explosões. Além dos gases emitidos e da contaminação dos recursos hídricos nos arredores dos lixões, segundo Peter, Nagendra e Nambi (2018), tem-se voltado as atenções para os problemas de saúde resultantes da inalação dos materiais particulados emitidos nestes locais.

Outro impacto ambiental causado por lixões está relacionado com a poluição dos solos por diferentes metais que são transferidos para plantas por diferentes meios. Contaminantes como cádmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) podem alterar a química do solo e ter impacto nos organismos e plantas que dependem do solo para sua nutrição (VOUTSA; GRIMANIS; SAMARA, 1996). Apesar dos diferentes meios na qual o contaminante pode se encontrar, dependendo das suas características, os mesmos acabam quase sempre por parar no solo ou careados para as águas superficiais ou subterrâneas.

#### 2.2.1.2.2 *Degradação Bioquímica da Matéria Orgânica*

O processo de degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos é um fenômeno constituído essencialmente pela superposição de mecanismos biológicos e físico-químicos, catalisados pelo fator água, presente nos resíduos, pela umidade inicial e pelas águas das precipitações que ocorrem quando estes estão dispostos em aterro sanitário (CASTILHO JUNIOR et al., 2003). Na Figura 2 são apresentados os principais fenômenos resultantes da degradação dos RSU.

Figura 2 - Principais impactos ambientais resultantes dos lixões.



Fonte: Castilhos Junior et al. (2003)

Segundo Castilhos Junior et al. (2003), existem os processos físico-químicos e biológicos de degradação. No primeiro caso estão envolvidos os processos de dissolução dos minerais que compõem os

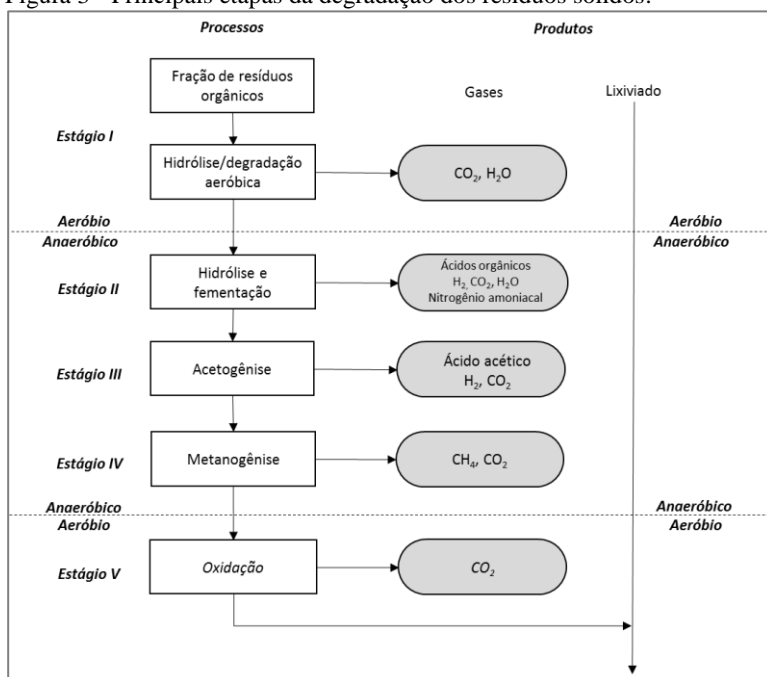
resíduos. Estes processos são descritos pelas reações químicas, cujas cinéticas dependem de fatores como características do sólido e composição da solução. Já no segundo caso, trata-se de mecanismos biológicos de degradação dos RSU. Estes ocorrem em meios aeróbios ou anaeróbicos, por ação de microorganismos.

Conforme apresentado na Figura 3, o processo de degradação da maioria da matéria orgânica e inorgânica dos resíduos se dá em cinco principais estágios (WILLIAMS, 2005). O primeiro estágio consiste na hidrólise, em que compostos orgânicos complexos, tais como carboidratos, proteínas e lipídios, são decompostos em substâncias menos complexas como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. Esta etapa ocorre durante as fases iniciais de deposição dos resíduos, em condições aeróbicas, gerando compostos intermediários como dióxido de carbono e água. Desta forma ela depende da disponibilidade de oxigênio que por sua vez depende da compactação dos resíduos e da rapidez com que os mesmos são cobertos (FNR, 2010).

O segundo estágio, acidogênico, ocorre pela deficiência de oxigênio causada no primeiro estágio, predominando-se as condições anaeróbicas. Neste estágio, são gerados a partir dos compostos intermediários, os ácidos graxos de cadeia curta, dióxido de carbono, hidrogênio e pequenas quantidades de ácido lático e álcoois (FNR, 2010). No terceiro estágio, ocorre a formação do ácido acético e derivados, dióxido de carbono e hidrogênio, em condições anaeróbicas (acetogênese). Estes subprodutos são os precursores do biogás. No quarto e penúltimo estágio, os microrganismos metanogênicos convertem os ácidos orgânicos formados nos estágios II e III, principalmente o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano (metanogênese) (FNR, 2010).

Significativas concentrações do metano são gerados entre os 3 e 12 meses, entretanto, o biogás pode continuar sendo produzido entre 15 a 30 anos após a disposição final, dependendo das características locais e dos resíduos (FNR, 2010; WILLIAMS, 2005; MMA, 2018). O último estágio de degradação dos resíduos, a oxidação, resulta do término das reações de degradação ocorridas nos estágios precedentes, reestabelecendo-se as condições aeróbicas. Nesta etapa, os microrganismos aeróbios convertem o metano residual em dióxido de carbono e a água (WILLIAMS, 2005).

Figura 3 - Principais etapas da degradação dos resíduos sólidos.



Fonte: Adaptado de EPA (2000)

A degradação dos resíduos depende de diversos fatores tais como: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação (WILLIAMS, 2005). São os processos de degradação supracitados que resultam na bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas, isto é, na produção do lixiviado e do biogás, que conforme citado anteriormente, são os principais componentes responsáveis pela degradação ambiental nos locais de disposição de RSU.

### 2.2.2 Aterro sanitário

Os aterros sanitários são uma das formas de disposição final ambientalmente adequadas e de alta aplicabilidade devido a facilidade operacional e pequenos custos, quando comparado com outras técnicas de disposição de resíduos urbanos, além da grande variedade de resíduos passíveis de serem aterrados, incluindo os resultantes de outras

formas de tratamento e disposição (WILLIAMS, 2005). O aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, utilizando-se princípios de engenharia, de tal modo a confinar os resíduos no menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra e evitando assim, danos ao meio ambiente, à saúde e segurança pública (ABNT, 1992; RECESA, 2008).

Embora o aterro sanitário seja considerado a forma de disposição final ambientalmente adequada, apresenta vantagens e desvantagens. Segundo Portella e Ribeiro (2014), esse método enfrenta limitações por conta do crescimento dos grandes centros urbanos e consequente aumento da produção e descarte do lixo. Esse fato, restringe a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de resíduos e com dimensões necessárias para se implantar um aterro sanitário (MONTEIRO et al., 2001).

A consideração dos aspectos técnicos, sociais e econômicos, aliadas às técnicas de geoprocessamento, auxiliam nas alternativas locais para os aterros sanitários, diminuindo os seus impactos ambientais (CALIJURI; LORENTZ; MELO, 2002). Entretanto, devido a diversidade de fatores que influenciam na escolha da área, como proximidade da fonte de geração dos resíduos, facilidade de acesso, impactos locais advindos da operação e estabilidade geológica e hidrogeológica do local, faz-se necessário estabelecer prioridades para cada aspecto estabelecido, atribuindo pontuações, sendo o melhor local, aquele que obtiver maior pontuação (WILLIAMS, 2005; REICHERT, 2007).

A ABNT (1997), em sua Norma 13.896/1997, determina que para a avaliação da adequabilidade de um local aos critérios, as seguintes considerações técnicas devem ser realizadas:

- a) topografia - recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- b) geologia e tipos de solos existentes - considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10-6 cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;
- c) recursos hídricos - o aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer corpo d'água;
- d) vegetação - pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;

- e) acessos - fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação;
- f) tamanho disponível e vida útil - recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos;
- g) custos - os custos de um aterro têm grande variabilidade conforme o seu tamanho e o seu método construtivo. A elaboração de um cronograma físico- financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento;
- h) distância mínima a núcleos populacionais - recomenda-se que a distância seja superior a 500 m.

Ainda segundo a ABNT (1997), devem ser, obrigatoriamente, observados os seguintes critérios:

- a) o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos;
- b) entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região;
- c) o aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s;
- d) os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

Um projeto de aterro sanitário deve apresentar a justificativa da escolha de cada um dos vários elementos que o compõem, como a drenagem das águas superficiais, a impermeabilização da camada superior e inferior, a drenagem e o tratamento dos lixiviados e gases, bem como o plano de monitoramento para avaliar o impacto causado pela obra, os métodos de operação do aterro e as sugestões de uso futuro da área após encerramento das atividades (VAN ELK, 2007). Os resíduos depositados no aterro devem ser recobertos diariamente com uma camada de 15 a 30 cm de solo local ou outro material alternativo, formando assim, o que é chamado de células. A sequência dessas células formam as camadas, que são sobrepostas até se atingir a altura de 15 a 20 m (por vezes maior), onde são colocados patamares ou terraços que servem para manter a estabilidade dos taludes, colocar a



drenagem de águas pluviais, drenos de biogás e trânsito de veículos e máquinas de manutenção futura dos taludes (REICHERT, 2007).

A impermeabilização da base é um dos elementos de controle em aterros que visa prevenir a contaminação ambiental por lixiviados ou gases pelo fundo do aterro. Normalmente é feita com material argiloso compactado e/ou geomembranas. Outros elementos de controle são: sistemas de coleta e extração de lixiviados, sistemas de coleta e extração de biogás, e camadas de cobertura diária e final (REICHERT, 2007). O lixiviado produzido no aterro sanitário é coletado no fundo do aterro ou em pontos intermediários (no caso de aterros de maior altura) através de drenos constituídos por materiais de maior granulometria (ex: pedra de mão ou brita). O lixiviado coletado deve ser devidamente tratado antes do seu lançamento, podendo ser recirculado para o interior da massa de resíduos ou encaminhado para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (VAN ELK, 2007; REICHERT, 2007).

De igual modo, o biogás resultante da decomposição aeróbia e anaeróbica da matéria orgânica no aterro, deve ser devidamente coletado e tratado. Para tal, são utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais, sendo que os primeiros são os mais utilizados, estando nestes casos, sempre interligados com drenos horizontais de lixiviados. A forma mais barata e usual de tratar o biogás coletado é a queima, no qual o efeito poluidor do mesmo é reduzido, além de possibilitar o beneficiamento com a venda de créditos de carbono, no contexto de mudanças climáticas e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) estabelecidos pelo Protocolo de Quioto. Entretanto, o biogás pode ser convertido em energias elétrica e térmica, combustível veicular, abastecimento de gasodutos com gás de qualidade, que podem ser usados em processos internos ao aterro ou comercializado para outros diferentes usos (RECESA, 2008; BRASIL, 2018).

A camada de cobertura final do aterro consiste de várias camadas de solo e/ou geomembranas projetadas para melhorar a drenagem superficial, diminuir a infiltração de água da chuva no aterro, controlar e emissão de gases, e dar suporte a revegetação (REICHERT, 2007). Cabe ressaltar que do início ao fim das obras do aterro, da sua operação até o encerramento, devem ser considerados aspectos paisagísticos de modo a integrar a infraestrutura no ambiente natural (JARAMILLO, 1991).

O sistema de aterro sanitário precisa ser associado à coleta seletiva de lixo para reciclagem, o que permite que sua vida útil seja dilatada, uma vez que se desviam dos aterros os resíduos recicláveis e

compostáveis, além de promover a educação ambiental e a consciência ecológica. Processos como a compostagem, que transforma a matéria orgânica em húmus pela ação de microrganismos aeróbios presentes no próprio material, também são necessários para aumentar a vida útil do aterro, além de reduzir a carga orgânica no lixiviado e reduzir a emissão de gases de efeito estufa (PORTELLA; RIBEIRO, 2014; GOMES et al., 2015; RECESA, 2008). Após se atingir a vida útil do aterro, se recomenda o seu monitoramento por, pelo menos, mais 10 anos.

### 2.3 ÁREAS DEGRADADAS E GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Segundo CETESB (2001), área contaminada pode ser entendida como locais “onde há comprovadamente poluição causada por quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados, e que determina impactos negativos sobre os bens a proteger”. De acordo com a definição acima, existe uma preocupação não apenas com a presença dos poluentes, mas também a ocorrência dos danos ou riscos aos bens a proteger. Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81), são considerados bens a proteger:

- a saúde e o bem-estar da população;
- a fauna e a flora;
- a qualidade do solo, das águas e do ar;
- os interesses de proteção à natureza/paisagem;
- a ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- a segurança e ordem pública.

As áreas degradadas são consideradas locais onde ocorrem processos de alteração das propriedades físicas e/ou químicas de um ou mais compartimentos do meio ambiente. Desta forma, áreas contaminadas podem ser consideradas áreas degradadas onde ocorrem principalmente alterações das propriedades químicas, ou seja, a contaminação (CETESB, 2001). Desta forma, uma área será considerada contaminada, quando elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima de limites pré-estabelecidos, representando desta forma, risco à saúde humana, havendo necessidade de ações imediatas na área visando minimização das vias de exposição bem como restrição dos usos locais (CETESB, 2001).

Estes locais contaminados necessitam de um gerenciamento adequado de modo a amenizar os seus impactos adversos. Esse gerenciamento, pode ser compreendido como conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à população e ao meio ambiente. Essas medidas devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (CETESB, 2001). O CONAMA através da Resolução nº 420 de 2009 (BRASIL, 2009) além de estabelecer os valores orientadores para solo e água subterrânea, apresenta as etapas nas quais devem estar assentes os procedimentos e ações de investigação e de gestão de áreas contaminadas. São elas:

- I. Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.
- II. Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.
- III. Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

A CETESB (2001) define dois processos que constituem a base do gerenciamento de áreas contaminadas. O primeiro é o processo de identificação, cujo objetivo principal é a localização da área contaminada, sendo composta pelas etapas: definição da região de interesse; identificação de áreas potencialmente contaminadas; avaliação preliminar e; investigação confirmatória. Já o segundo é o processo de recuperação de áreas contaminadas, cujo objetivo principal é adoção de medidas corretivas nessas áreas que possibilitem recuperá-las para um uso compatível com as metas estabelecidas a serem atingidas após a intervenção. Este processo é constituído das seguintes

etapas: investigação detalhada; avaliação do risco; investigação para remediação; projeto de remediação; remediação e; monitoramento.

### **2.3.1 Recuperação de áreas degradadas por disposição de RSU**

Segundo Monteiro et al. (2001), na teoria, a maneira correta de se recuperar uma área degradada por um lixão seria proceder à remoção completa de todo o lixo depositado, colocando-o num aterro sanitário e recuperando a área escavada com solo natural da região. Entretanto os custos envolvendo estes processos são muito elevados, inviabilizando-os. Desta forma, Alberte (2003<sup>3</sup> apud COELHO; SALES, 2018) propõe um conjunto de providências, simples e econômicas, a serem tomados a fim de minimizar o problema:

- Intervir em um aterro com o intuito de encerrar a sua operação, requalificando-o ambientalmente ao espaço onde está inserido, reduzindo os impactos ambientais negativos sofridos pela área e dando-lhe outra finalidade;
- Transformar um aterro comum (lixão) em aterro controlado/sanitário. Esta prática promove a recuperação gradual da área degradada mantendo sua operação. Objetiva prolongar a vida útil do aterro e minimizar os seus impactos socioambientais.

Segundo Beli et al. (2005), as áreas de disposição do lixo, quando desativadas, encontram-se, invariavelmente, degradadas e necessitam, portanto, da elaboração de um plano de recuperação, além do monitoramento ao longo dos anos para se avaliar a sua evolução. Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2010), esse plano denominado Plano de Reabilitação de Área Degradada por Lixão (PRAD), deve contemplar, no mínimo, as seguintes informações:

- Caracterização e identificação do empreendimento e dos responsáveis pelo projeto;
- Levantamento topográfico/cadastral com indicação de cursos d'água, poços ou cisternas e edificações existentes no entorno de até 500m;
- Caracterização geológica/geotécnica da área;

---

<sup>3</sup> ALBERTE, Elaine P. V. **Análise de Técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos: Lixões, Aterros Controlados e Aterros Sanitários. Bahia – Brasil**, Faculdade de Tecnologia e Ciências, Salvador, 2003.

- Diagnóstico ambiental simplificado, com a descrição dos aspectos físicos e socioeconômicos da área de entorno do depósito de lixo;
- Caracterização das águas subterrâneas em pelo menos 2 pontos, um a montante e um a jusante do depósito de lixo;
- Memorial descritivo das propostas para os processos de recuperação, contendo orientações para execução dos serviços de reconformação geométrica, selagem do lixão, drenagem das águas pluviais, drenagem dos gases, drenagem e tratamento dos lixiviados, cobertura vegetal e isolamento da área;
- Definição das alternativas de uso futuro da área;
- Definição de um programa de monitoramento da estabilidade do maciço; do estado de manutenção dos sistemas de drenagem (pluvial, gases e lixiviados), qualidade das águas superficiais e subterrânea, crescimento e controle da cobertura vegetal, sistemas de sinalização e isolamento da área;
- Custos estimados e cronograma de execução.

### **2.3.2 Técnicas de desativação dos lixões**

A desativação de áreas ocupadas por lixões é feita, muitas vezes, sem critérios técnicos realizando-se apenas o encerramento da disposição de resíduos no local, fechamento e abandono da área. Entretanto apesar de cessarem o trabalho dos catadores nestes locais, continuam-se tendo problemas relacionados com a produção do chorume e gases e odores quando tiver atividade biológica no interior do maciço (FEAM, 2010). Desta forma, intervir numa área degradada por RSU visa principalmente fornecer proteção ao meio ambiente por um período prolongado (GILL et al., 1999).

A primeira etapa na recuperação de áreas degradadas por disposição de RSU corresponde à avaliação das condições de comprometimento ambiental do local. Isto pode ser realizado através de análises das águas superficiais / subterrâneas e de sondagens para conhecimento do estágio de decomposição dos resíduos e das condições de estabilidade e permeabilidade do solo. Já a segunda etapa está relacionada com a seleção das atividades remediadoras visando reduzir a mobilidade, toxicidade, volume de contaminantes e estabilização do solo (ALBERTE; CARNEIRO; KAN, 2005).

Vale ressaltar que a melhor técnica será aquela pautada num estudo prévio detalhado do local, feito sob supervisão técnica de profissionais habilitados (FEAM, 2010). Uma área degradada pode ser

remediada “in situ” ou “ex situ”. No primeiro caso os contaminantes são extraídos e tratados na superfície ou no próprio subsolo através de produtos químicos. No segundo caso, os contaminantes são extraídos e levados para outro local, como por exemplo, aterros sanitários ou incineradores (ABLP, 2007).

A remoção e transporte de resíduos para outro local previamente definida e regularizada por órgãos ambientais, é uma das técnicas de desativação de lixões. Segundo FEAM (2010), essa técnica só é viável economicamente, em locais com pouca quantidade de resíduos depositados e nos casos em que o lixão estiver localizado em áreas de risco geológico ou geotécnico que possa significar perigo à população. Técnicas simplificadas também podem ser adotadas, consistindo no encapsulamento dos resíduos dispostos nos lixões. É recomendada nos casos em que a remoção dos resíduos dispostos no local seja inviável e nos seguintes casos:

- o maciço de resíduos deve possuir pequena altura e taludes estáveis, sendo capeado com solo, sem manejo de resíduos;
- o depósito não deve estar em áreas de formação cárstica, ou outra formação geológica propícia a formação de cavernas, nem em áreas com valor histórico ou cultural, como os sítios arqueológicos, nem em áreas de preservação permanente, de proteção ambiental e reservas biológicas, ou ainda, em áreas com menos de 200 metros de distância de corpos hídricos utilizados para irrigação de hortaliças e consumo humano;
- deve haver disponibilidade de solo apropriado para o encapsulamento de resíduos a menos de 1,5 km do local;
- não ter ocorrido comprometimento das águas subterrâneas, constatado em análises químicas e biológicas;
- cessão, à prefeitura, da área de empréstimo, mediante comprovação de capacidade e qualidade, em condições financeiras notoriamente vantajosas;
- os catadores de materiais recicláveis do município devem estar em processo formal de organização (FEAM, 2010).

Após estes condicionantes acima estarem obedecidas, a Fundação Estadual de Meio Ambiente, FEAM (2010) recomenda a realização das seguintes atividades:

- avaliação da extensão da área ocupada pelos resíduos;

- delimitação da área com cerca de isolamento e portão;
- identificação do local com placas de advertência;
- arrumação dos resíduos em valas escavadas ou reconformação geométrica dos taludes com a menor movimentação possível destes;
- conformação do platô superior com declividade mínima de 2% na direção das bordas ou, no caso de valas, o nivelamento final deverá ser feito de forma abaulada;
- recobrimento do maciço de resíduos com uma camada mínima de 50 cm de argila de boa qualidade, inclusive nos taludes laterais. Deve ser avaliada a necessidade da utilização de membrana sintética antes da camada de argila para se atingir condições de impermeabilidade;
- execução de canaletas de drenagem pluvial a montante do maciço para desvio das águas de chuva;
- execução de drenos verticais de gás;
- lançamento de uma camada de terra vegetal ou composto orgânico para possibilitar o plantio de espécies nativas de raízes curtas;
- registro no cadastro da Prefeitura da restrição de uso futuro da área.

Nos casos em que não se apliquem a recuperação simples, devido a alguma das restrições citadas anteriormente, que incluem a avaliação da água subterrânea quanto à contaminação, FEAM (2010) recomenda a recuperação parcial. Caso tenha-se verificado contaminação na área deve-se tomar medidas no sentido de definir ações de gerenciamento da contaminação e medidas de recuperação. Caso contrário deve-se implementar um Programa de Monitoramento da água subterrânea. A recuperação parcial de um lixão deve ser objeto de um projeto conceitual e de um projeto executivo, que contemple, no mínimo, as seguintes medidas:

- reconformação geométrica baseada em avaliação geotécnica para garantir a estabilidade dos taludes e capeamento do lixão com selo impermeável de material argiloso ou material sintético como geomembrana de Polietileno de Alta Densidade – PEAD, se não houver disponibilidade local de argila de boa qualidade;
- conformação do platô superior com declividade mínima de 2%, na direção das bordas;
- controle da emissão e tratamento de lixiviados;
- coleta e desvio das águas superficiais;

- controle da emissão e queima de gases;
- isolamento da área;
- controle de recalques;
- controle da qualidade do ar;
- controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da área, por meio de poços de monitoramento;
- implantação de cobertura vegetal com gramíneas nos maciços de resíduos encerrados

### 2.3.2.1 Conversão em aterro sanitário

De acordo com Alberte, Carneiro e Kan (2005), a conversão do lixão em aterro sanitário promove a recuperação gradual da área degradada mantendo sua operação. Esta prática objetiva prolongar a vida útil do aterro e minimizar os seus impactos socioambientais. Segundo estes autores, em paralelo ao fechamento do lixão, deve-se realizar o estudo de novas alternativas locacionais de modo que não seja inviabilizada a disposição dos RSU, em curto prazo, no município. A conversão em aterro sanitário é viável, segundo a FEAM (2010), se área atende aos requisitos mínimos estabelecidos na NBR 13896/1997 da ABNT (1997) e as dimensões e características do terreno possibilitam a sua utilização adicional por um período superior a 15 anos.

Segundo Alberte, Carneiro e Kan (2005), esta técnica é adotada principalmente quando há dificuldades em encontrar novas áreas para disposição dos resíduos da região. A conversão do lixão a um aterro sanitário, segundo Joseph et al. (2010), pode ser um objetivo a longo prazo, enquanto meios físicos e financeiros são limitados. Estas técnicas requerem planejamento e projeto para o seu começo e planos relativos aos seus usos futuros. A Fundação Estadual de Meio Ambiente recomenda em caso de recuperação do lixão como aterro sanitário, que a elaboração dos projetos e estudos ambientais seja pautada na legislação ambiental e nas Normas Técnicas da ABNT pertinentes, notadamente a NBR 13896/1997 e a NBR 8419/1992. Para os aterros sanitários de pequeno porte, recomenda-se observar a NBR 15849/2010 da ABNT (FEAM, 2010).

### 2.3.3 Uso futuro da área

Mesmo após o encerramento das atividades dos lixões, continuará ocorrendo processos de decomposição por períodos



relativamente longos. Desta forma, após a reabilitação das áreas, os sistemas de drenagem superficial de águas pluviais, de tratamento dos gases, de coleta e tratamento dos lixiviados e de monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea devem ser mantidos por um período que será definido pelo órgão ambiental em função das características locais (FEAM, 2010). Segundo Alberte, Carneiro e Kan (2005), independentemente do desempenho das técnicas para o tratamento dos resíduos, faz-se necessária a conformação da superfície final e dos taludes do aterro. Segundo os mesmos autores, os taludes são significativamente degradados ao longo da operação do aterro, sendo, ao final de seu uso, suscetível de recalque e erosões. Uma forma de prevenir possíveis recalques e erosões da área reabilitada, é segundo Alberte, Carneiro e Kan (2005), fazer a revegetação do local com vegetação pioneira, através do rápido estabelecimento das raízes.

Em geral não são recomendadas construções acima de um lixão reabilitado devido a uma má fundação, à possibilidade de infiltração de gases com alto poder combustível e explosivo (metano), a menos que estudos geotécnicos e monitoramento dos gases demonstrem que é possível construir (FEAM, 2010). Para uso futuro dos aterros é indicada a implantação de áreas verdes, com equipamentos comunitários como praças esportivas, campos de futebol e áreas de convívio, nos casos de aterros próximos a áreas urbanizadas (ALBERTE; CARNEIRO; KAN, 2005). Seja qual for a técnica proposta, a reabilitação da área deve proporcionar uma integração à paisagem do entorno e às necessidades da comunidade local, sendo recomendável a participação de seus representantes na definição do uso futuro da área (FEAM, 2010).

### **2.3.4 Mineração de aterros**

No contexto da economia circular, os aterros que antes eram vistos apenas como destino final dos resíduos devem ser considerados fonte de recursos para futuras gerações, isto é, devem ser vistos como reservas temporárias dos RSU e não definitivas (MASI et al., 2014; BURLAKOV et al., 2017). Assim uma técnica de remediação denominada mineração de aterros, do inglês "*Landfill Mining*" (LFM) tem sido aplicada na recuperação de lixões de RSU. Esta técnica consiste na escavação, transferência, processamento, tratamento e/ou cobertura dos resíduos de aterros desativados ou lixões (SAVAGE et

al., 1993<sup>4</sup> apud FRÄNDEGÅRD et al., 2013; HOGLAND; MARQUES; NIMMERMARK, 2004). A tecnologia consiste também na integração da valorização dos resíduos em materiais (“*Waste to Material*<sup>5</sup>” – *WtM*) e em energia (“*Waste to Energie*<sup>6</sup>” – *WtE*), usando tecnologias e respeitando os aspectos sociais e ecológicos (JONES et al., 2013).

Esta técnica que foi introduzida em Israel no ano de 1953 só ganhou maiores contornos a partir da década de 90, onde começaram a surgir projetos que visavam solucionar além dos problemas locais como preservação de aterros sanitários, remediação e outras formas convencionais de gestão de resíduos, extrair e recuperar materiais recicláveis dos aterros (MASI et al., 2014; FRÄNDEGÅRD et al., 2013). Segundo Hogland; Marques; Nimmermark (2004), LFM tem como objetivos principais: 1) conservação da área do aterro; 2) redução da área do aterro; 3) eliminação de fontes potenciais de contaminação; 4) mitigação de fontes de contaminação existentes; 5) aproveitamento energético; 6) reciclagem dos materiais recuperados; 7) redução dos custos de manejo e; 8) revitalização da área.

Para aplicá-la, deve-se ter em mãos o conhecimento do histórico do lixão, os tipos de resíduos, as dimensões do aterro, aspectos físicos e topográficos assim como aspectos relativos a equipamentos, unidades de processamento de material, a organização e gestão de mão-de-obra, métodos analíticos e sistematização da coleta dos dados, para que assim se possa alcançar os benefícios sociais, econômicos e ambientais desta técnica (BURLAKOV et al., 2017). Um projeto de mineração de aterros ou de lixões emprega métodos de mineração que visam separar os resíduos sólidos em três frações: materiais grosseiros, materiais de tamanhos médios e detritos ou húmus. Os primeiros são materiais recicláveis como metais, plásticos e borrachas, os segundos, materiais como matéria orgânica parcialmente decomposta, combustíveis e recicláveis e os últimos são frações finas compostas principalmente por solo estabilizado (JOSEPH et al., 2010).

A primeira etapa é a escavação manual ou com máquinas, seguida de uma pré-separação com peneiras cilíndricas giratórias ou peneiras vibratórias, que separam os resíduos sólidos do solo. Segundo Hogland (2002), o solo representa cerca de 50 a 60% do material

---

<sup>4</sup> Savage, G.M., Golueke, C.G., von Stein, E.L., 1993. Landfill mining: Past and present. *BioCycle* 34, 58–61.

<sup>5</sup> “*Waste to Material*” – Resíduo em materiais (tradução livre)

<sup>6</sup> “*Waste to Energie*” – Resíduo em energia (tradução livre)

retirado dos aterros. Já nos processos mais avançados da separação podem ser usados separadores magnéticos para separar metais ferrosos ou classificadores de ar, que separam materiais por tamanhos, formas e densidades, para os não metálicos. Também é feito o peneiramento, nos quais peneiras maiores são usados para separar detritos/húmus dos materiais de tamanhos médios e peneiras menores para separação de pequenas frações de metais, plásticos, vidros e papéis, caso pretenda-se usar o solo recuperado na construção ou outros usos que requeiram materiais com alta fração de solo (JOSEPH et al., 2010).

A eficiência de LFM depende do tipo de resíduos depositados no aterro, das oportunidades de reuso dos materiais recuperados e das tecnologias que são empregadas no processo. A porção de materiais passíveis de recuperação está em torno de 50 a 90%, ou seja, a maior parte dos resíduos depositados em aterros são passíveis de serem recuperados pelo processo de LFM através da separação física ou mecânica dos resíduos (HOGLAND, 2002).

Os processos mecânicos supracitados, envolvidos no LFM, permitem a recuperação de materiais que trazem diversos benefícios como: madeira para produção de aparas de madeira; concreto, tijolos e argamassa para construção de estradas; metais como ferro, alumínio, cobre etc., para reciclagem; obtenção de fertilizantes, composto e solo; aumento do espaço no aterro, entre outros (JOSEPH et al., 2010).

#### 2.3.4.1 Processos térmicos de recuperação energética dos RSU

Além dos processos mecânicos, que transformam os resíduos em outros materiais (WtM), podem ser aplicados processos térmicos para transformar os resíduos em energia (WtE). Estes processos térmicos visam destruir os componentes orgânicos dos resíduos e reduzir assim o volume do mesmo a serem encaminhados aos locais de disposição final. Dentre os processos térmicos destacam-se a incineração, a gaseificação e a pirólise, sendo a diferença principal entre eles, a quantidade de oxigênio requerida e a temperatura nos quais ocorrem cada um dos processos. Incineração ou combustão é o processo exotérmico de completa oxidação dos materiais combustíveis constituintes dos resíduos, passível de ser aplicada a uma variedade de resíduos. Este processo envolve elevadas temperaturas, em torno de 800°C a 1200°C, numa atmosfera rica em oxigênio, gerando subprodutos como cinzas, gases da combustão e calor (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016).

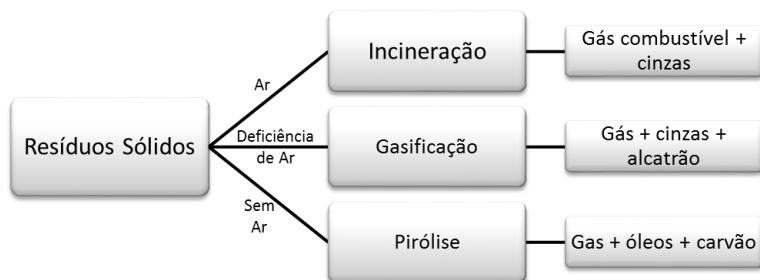
As cinzas são compostas em sua maioria por constituintes inorgânicos dos resíduos e dependendo do seu tratamento, podem ser recuperados metais ferrosos e não ferrosos e o restante usado na construção de estradas e edifícios. Já os gases provenientes da combustão devem sofrer um tratamento adicional para redução dos poluentes gasosos e materiais particulados, antes de serem recuperados ou lançados na atmosfera. O calor que é liberado no processo pode ser reutilizado na produção da eletricidade através de sistemas de recuperação de calor (GROSSO; BIGANZOLI; RIGAMONTI, 2011; WILLIAMS, 2005).

A gaseificação é um processo de oxidação parcial dos resíduos, a elevadas temperaturas (800 a 1000°C), em que toda a biomassa é convertida em um gás combustível que pode ser queimado diretamente ou usado como combustível para motores de combustão interna e turbinas a gás. Este gás é composto de monóxido de carbono, hidrogênio e dióxido de carbono e deve sofrer uma lavagem antes do seu lançamento na atmosfera (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016; WILLIAMS, 2005).

A pirólise é um processo endotérmico de degradação térmica de materiais à base de carbono, na ausência do oxigênio. Esta degradação térmica ocorre a temperatura de aproximadamente 400°C a 800°C, formando subprodutos ricos em carbono (carvão), óleos e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis. Os óleos produzidos neste processo podem ser usados diretamente como combustíveis ou melhorado para produzir combustíveis refinados, enquanto as cinzas, usadas como combustíveis sólidos (carvão) ou melhorados para produzir carvão ativado. Já o gás produzido neste processo possui médio a alto poder calorífico podendo suprir as necessidades energéticas internas da própria planta (WILLIAMS, 2005).

As principais diferenças entre os processos térmicos supracitados estão apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Processos característicos da incineração, gaseificação e pirólise.



Fonte: Adaptado de Williams (2005).

Com vista na produção de energia a partir dos resíduos (WtM), os processos térmicos estão sendo empregados como um tratamento avançado dos produtos intermediários obtidos da LFM, visando aumentar os seus valores no mercado. Os combustíveis derivados de resíduos são exemplos desses produtos que podem ser valorizados através do tratamento térmico com recuperação energética (DANTHUREBANDARA et al., 2015).

## 2.4 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Segundo Bardos et al. (2001) apoio à decisão é a assistência, comprovação e colaboração de um ato ou resultado de uma decisão que em geral determinará a melhor abordagem. Segundo Roy (1985<sup>7</sup> apud NAFI; WEREY, 2010), o apoio à decisão é a atividade de quem, se apoiando sobre modelos claramente explícitos embora não necessariamente formalizados por completo, ajuda a obter os elementos de resposta às questões que são colocadas pelo orador durante o processo de decisão. O processo de tomada de decisão se dá em algumas etapas como: identificação dos objetivos e das opções disponíveis para alcança-los, os critérios a serem utilizados na comparação dessas opções, análise das mesmas, tomada de decisão e opinião ou retorno por parte dos tomadores de decisão (DODGSON et al., 2009).

Vale ressaltar que tomada de decisão é diferente de apoio a decisão (BARDOS et al., 2001). O primeiro caso baseia-se no método racionalista onde os problemas são resolvidos por meio de procedimentos padrões, buscando a solução ótima através da exclusão da subjetividade dos envolvidos no processo decisório. Já no segundo

<sup>7</sup> Roy B. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, Paris, 1985.

caso, a decisão se baseia no paradigma construtivista, onde situações complexas incorporam aspectos subjetivos explicitados, considerando fatores quantitativos e qualitativos (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO e NORONHA, 2001<sup>8</sup> apud RAMOS, 2016). O apoio a decisão pode vir na forma de um guia ou de um software. O guia é provido por entidades reguladoras com o objetivo de conseguir uma padronização, uma abordagem replicável para chegar a uma decisão. Já os softwares são produzidos para auxiliar na tomada de decisão por processos intensivos de análise computacional (SULLIVAN, 2002).

Segundo Sullivan (2002) é vantajoso utilizar ferramentas computadorizadas no apoio à decisão uma vez que desenvolve transparência no processo decisório e permite que incertezas da decisão sejam quantificadas e documentadas. Assim, as FADs têm sido muito utilizadas na tomada de decisão em questões envolvendo lixões e outras análises ambientais.

Conforme Joseph (2016), para se efetuar a recuperação de lixões é preciso considerar diversos fatores envolvidos, desde investigações técnicas, avaliação do impacto ambiental, até partes interessadas ou afetadas como a comunidade de entorno. Diversas incertezas estão envolvidas neste processo. Desta forma, é interessante que se tenha uma ferramenta simples, baseada em julgamentos de experts que permita fazer uma análise destes fatores e dos riscos associados. Em geral, as FADs baseiam-se em análises multicritérios que utilizam um conjunto de técnicas cujo objetivo é ordenar ou hierarquizar as diversas opções disponíveis, que por vezes são conflitantes, auxiliando na tomada de decisão (DODGSON et al., 2009). São diversos os métodos de análise multicritério existentes, a saber: *Analytic Hierarchy Process* (AHP); *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE); família *Elimination Et Choice Traidusaint la Realité* (ELECTRE), *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution* (TOPSIS), *Fuzzy Decision Aproach* (FDA); Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) entre outros (SAATY, 1990; FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; ARAUJO, 2013). Apesar das diferenças do ponto de vista matemático e da nomenclatura, os métodos supracitados são empregados para o mesmo fim, que é auxiliar a tomada de decisão baseada em análises multicritério (LONGARAY et al.,

---

<sup>8</sup> ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas.** Florianópolis: Insular, 2001.

2016). No entanto, na prática, as FADs podem basear-se numa mistura de diferentes técnicas (BARDOS et al., 2001).

Assim, neste trabalho utilizou-se uma FAD denominada ReLix – Remediação de Lixões de Resíduos Sólidos Urbanos, que é uma ferramenta baseada em análise multicritério. A mesma foi aplicada por Moreira et al. (2018) no diagnóstico de três lixões de RSU da ilha de Santiago, Cabo Verde, tendo apresentado resultados satisfatórios, mostrando-se ser uma importante ferramenta de auxílio aos tomadores de decisão.

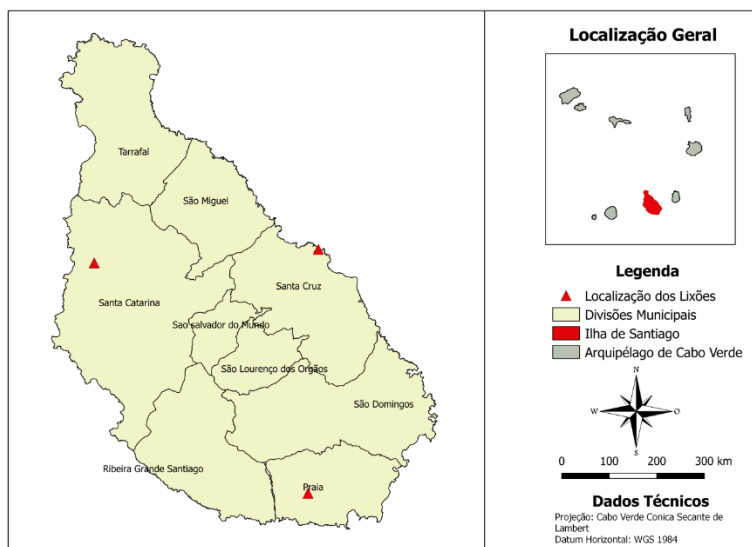
### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa trouxe como objeto de estudo os lixões de RSU da Ilha de Santiago – Cabo Verde. Dessa forma, visou identificar e diagnosticar os lixões de modo a estimar seus impactos e propor tecnologias para suas respectivas recuperações. Com isso, uma pesquisa de campo foi levada a cabo visando fazer o levantamento dos dados necessários ao diagnóstico que será feito com o auxílio de uma FAD.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Visando estimar os impactos ambientais dos lixões bem como estabelecer as prioridades no processo de encerramento, foram escolhidos em consonância com a Agência Nacional de Água e Saneamento (ANAS), Cabo Verde, três lixões na ilha da Santiago (Figura 5) que suscitam maiores preocupações, sendo que os respectivos encerramentos fazem parte dos planos de atividades da referida instituição, para o corrente ano.

Figura 5 - Localização dos Lixões diagnosticados na Ilha de Santiago- Cabo Verde.



Fonte: Própria (2018)



Conforme apresentado na Figura 5, são alvos desta pesquisa, os Lixões Municipais da Praia, Santa Cruz e Santa Catarina. Na Figura 6 podem ser visualizados a situação dos mesmos.

Figura 6 - a) Lixão Municipal da Praia; b) Lixão Municipal de Santa Cruz; c) Lixão Municipal de Santa Catarina.



Fonte: Própria (2018)

### 3.2 A ESCOLHA DA FERRAMENTA

A FAD escolhida para ser utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos (LARESO), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), para auxiliar os municípios brasileiros na implementação da PNRS, no que diz respeito à recuperação e eliminação dos lixões de RSU. Trata-se de um programa de computador desenvolvido por Gomes (2018) para diagnosticar lixões de RSU e indicar os cenários e técnicas de recuperação. A ferramenta chamada ReLix – Remediação de Lixões de Resíduos Sólidos Urbanos, é gratuita e está disponível no repositório do LARESO<sup>9</sup>. A ferramenta permite fazer o diagnóstico de lixões de RSU através da aplicação de um questionário de campo (Anexo A), que possui questões divididas em categorias como segue:

- Identificação, caracterização da área onde o lixão está inserido e situações que podem estar associadas ao lixão;
- Caracterização do lixão;
- Solo e águas subterrâneas;
- Águas superficiais;
- Meio social;
- Meio natural e paisagens;
- Meio atmosférico.

---

<sup>9</sup> <https://github.com/lareso/RLRSU>

Estas questões são as mesmas da tela de cadastro dos lixões no *software*. O *software* é composto por 10 abas, sendo as 7 primeiras compostas pelas categorias supracitadas e mais 3 categorias: “Fotos do lixão”, “Diagnóstico” e “Cenário”. O diagnóstico gerado pela ferramenta tem como mecanismo principal um sistema de pontuação para o formulário de campo. Segundo Ramos et al. (2017), como existe uma variação na quantidade de respostas nas questões do questionário de campo, os valores das respostas são normalizados para tornar o peso das questões equivalentes. Como o número máximo possível de respostas ( $N_{max}$ ) no questionário é seis, a normalização dos valores foi feita dividindo esse número pelo número de respostas da questão ( $N_r$ ). Isso foi feito por meio da equação do valor de normalização ( $V_n$ ), expressa (Equação 1):

$$V_n = \frac{N_{max}}{N_r} \quad (1)$$

Com o valor de normalização ( $V_n$ ), é possível obter a pontuação de cada resposta de uma questão, multiplicando-se sua posição na ordem de possíveis respostas pelo  $V_n$ . Desta forma, a pontuação máxima de cada resposta de uma questão é seis para aquela de maior impacto, decrescendo linearmente para respostas de menor impacto, conforme o número de possibilidades de resposta (RAMOS et al., 2017). A pontuação de cada categoria é o resultado da soma das pontuações de cada questão que a compõe e a pontuação final do lixão (PL) é a soma das pontuações de cada categoria acrescida da pontuação de cada uma das situações (S) identificadas em loco conforme a Equação 2.

$$PL = S + \sum_{q=1}^n v_r \quad (2)$$

Onde:

PL = pontuação do lixão

S = valor das situações

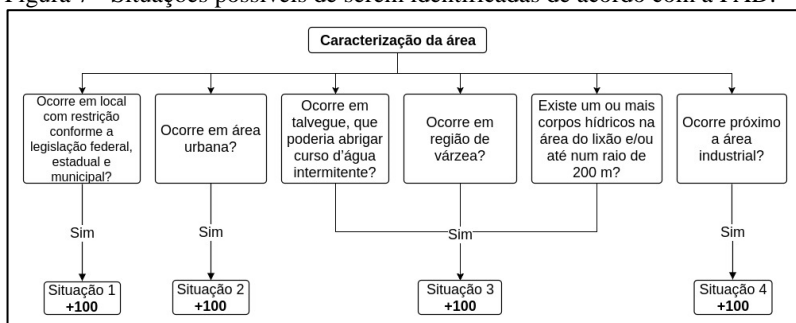
$v_r$  = valor da resposta na questão

q = 1 (primeira questão)

n = enésima questão

São quatro as situações possíveis de serem identificadas de acordo com a FAD, sendo que cada uma delas vale 100 pontos, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Situações possíveis de serem identificadas de acordo com a FAD.



Fonte: Gomes (2018)

Na Tabela 1 são apresentados a escala de classificação do lixão consoante a pontuação obtida bem como o intervalo ou amplitude de pontuação. Vale ressaltar que informações relacionadas com a identificação da área e questões relativas às condições meteorológicas no dia da visita, não são considerados no cálculo da pontuação do lixão. Entretanto, são obrigatórios para a geração do diagnóstico, o preenchimento do nome e da data do início das atividades do lixão (GOMES, 2018).

Tabela 1- Níveis de impacto estabelecidos pela FAD.

Nível de impacto	Escala numérica	Intervalo de pontuação
Reduzido	$\geq 125 \leq 160$	35 pontos
Baixo	$\geq 161 \leq 266$	105 pontos
Médio	$\geq 267 \leq 479$	212 pontos
Alto	$\geq 480 \leq 832$	352 pontos

Fonte: Gomes (2018)

Na aba “Diagnóstico” do *software* é apresentado um relatório do diagnóstico onde é possível ver a pontuação de cada questão, da categoria, a pontuação do lixão e consequente nível de impacto, além de apresentar situações identificadas e incertezas do diagnóstico. Já na aba “Cenário” são apresentados os cenários indicados, ordenados por ordem decrescente de prioridade. Ao todo são 3 cenários de

recuperação, 16 técnicas de recuperação e 34 critérios para a escolha das técnicas (GOMES, 2018).

As pontuações das técnicas e dos cenários, que permitem uma hierarquização das opções de recuperação, seguem as Equações 3 e 5, respectivamente. São possíveis no máximo cinco critérios para a escolha da técnica. Quanto maior a pontuação da técnica, maior sua relevância e prioridade de aplicação no cenário.

$$V_t = \sum_{c=1}^n \frac{5}{n_c} \quad (3)$$

Onde:

$V_t$  = valor da técnica

$c = 1$  (um critério de escolha selecionado)

$n$  = enésimo critério de escolha selecionado

$n_c$  = número de critérios de escolha selecionados.

$$V_c = \sum_{t=1}^n \frac{5}{n_t} \quad (4)$$

Onde:

$V_c$  = valor do cenário

$t = 1$  (uma técnica selecionada)

$n$  = enésima técnica de escolha selecionada

$n_t$  = número de técnicas selecionadas.

Contudo, devido as exigências legais e características relevantes para a definição do cenário, há também a necessidade de se fazer uma avaliação qualitativa no lixão, conforme apresentada na Figura 8. Assim, o valor total do cenário ( $V_{tc}$ ) é determinado como sendo o valor do cenário ( $V_c$ ) adicionado de seis conforme a Equação 4. Estes seis pontos extras foram definidos utilizando valor máximo possível em um cenário (cinco) mais um, para não haver possibilidade de empate entre os cenários (GOMES, 2018).

$$V_{tc} = V_c + 6 \quad (5)$$

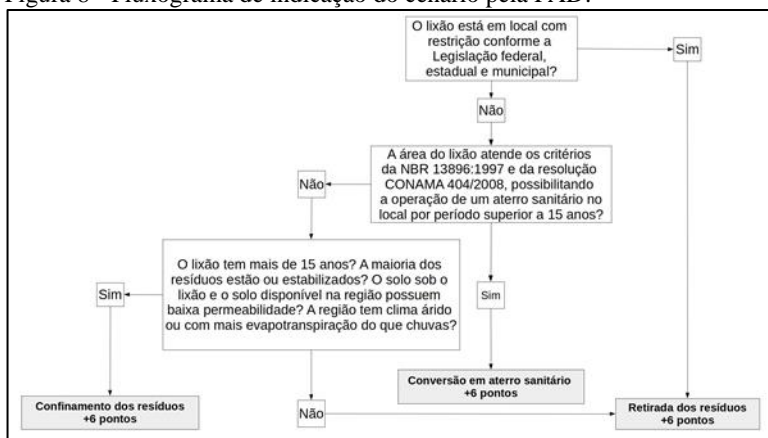
Onde:

$V_{tc}$  = valor total do cenário

$V_c$  = valor do cenário.

Conforme apresentado na Figura 8, atualmente, são possíveis três cenários diferentes, a saber: “Confinamento dos resíduos”, “Conversão em aterro sanitário” e “Retirada dos resíduos”. O primeiro caso ocorre quando não há restrição legal sobre o uso do local do lixão e a área não atende aos critérios normativos para operar como aterro sanitário por período superior a 15 anos. Já o segundo caso ocorre quando a área não possui restrição legal, mas ao contrário do primeiro caso, possui condições para operar como aterro sanitário por período superior a 15 anos. O último caso ocorre somente quando o lixão está localizado numa área com restrição ambiental. Neste caso a alternativa é retirar os resíduos do local e transferi-los a um aterro sanitário.

Figura 8 - Fluxograma de indicação do cenário pela FAD.



Fonte: Gomes (2018)

Vale ressaltar que, embora o programa tenha sido validado por lixões brasileiros, o fato do arcabouço legal de Cabo Verde ser insuficiente e das condições dos municípios desse país serem similares a uma boa parte dos municípios brasileiros, corroboraram pela sua aplicabilidade neste trabalho.

### 3.3 COLETA DE DADOS: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A coleta de dados foi feita em janeiro de 2018 e nela foram feitas visitas aos lixões para o registro fotográfico, aplicação do questionário de campo e levantamento de informações que não eram

possíveis constatar visualmente, como por exemplo, a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas. As visitas aos lixões em estudo foram acompanhadas por um responsável pelo setor do meio ambiente e saneamento de cada um dos municípios e um responsável pelo departamento de resíduos sólidos da ANAS.



## 4 RESULTADOS

Com base na aplicação do programa de computador desenvolvido por Gomes (2018), foram feitos os diagnósticos ambientais de três lixões em Cabo Verde e gerados os cenários e técnicas de remediação para os mesmos. As principais dificuldades enfrentadas na coleta dos dados estão relacionadas com a esfera normativa, fato que motivou a aplicação das normas brasileiras na análise da situação em Cabo Verde.

### 4.1 DIAGNÓSTICO DOS LIXÕES

De forma geral, o diagnóstico feito nos lixões com o uso da FAD, estabeleceu os níveis de impacto de cada lixão por meio de um sistema de pontuação, seus respectivos cenários de remediação e permitiu a compreensão das prioridades de remediação, uma vez que a ferramenta lista os lixões em ordem decrescente de pontuação, consequentemente, do lixão mais impactante, para o menos impactante. O Quadro 1 apresenta um resumo do diagnóstico feito pela FAD.

Quadro 1 - Resumo do diagnóstico feito nos três lixões de Cabo Verde.

Nome do lixão	Município/região	Pontuação	Nível de impacto
Lixão Municipal de Santa Cruz	Santa Cruz - ilha de Santiago	394	Médio
Lixão Municipal da Praia	Praia - ilha de Santiago	379	Médio
Lixão Municipal de Santa Catarina	Santa Catarina - ilha de Santiago	279	Médio

Fonte: Própria (2018)

De acordo com a metodologia adotada, todos os lixões apresentaram um nível de impacto ambiental “Médio”. O lixão Municipal de Santa Cruz, situado em área urbana, foi a que apresentou maior pontuação, portanto é a principal prioridade no processo de encerramento dos lixões da ilha de Santiago. Neste, a categoria de maior pontuação foi o “Caracterização do lixão” que contabilizou 73,5 pontos. Em seguida aparecem as categorias “Meio Social” e “Solo e águas subterrâneas” com 70 e 53 pontos respectivamente, conforme apresentadas na Figura 9.

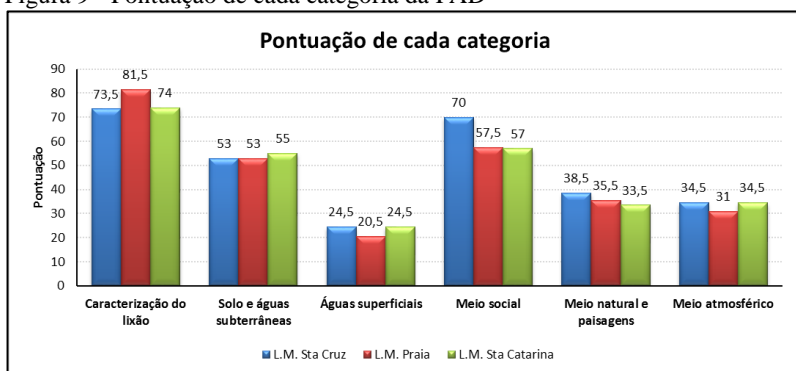
No Lixão Municipal da Praia, situado em área urbana, a categoria que teve maior influência na pontuação foi a “Caracterização do lixão”



com 81,5 pontos sendo as principais questões apresentadas no Quadro 2. Neste lixão o “Meio social” também teve alta influência com 57,5 pontos seguida pela categoria “Solo e águas subterrâneas” com 53 pontos.

O Lixão Municipal de Santa Catarina, situada em área rural, apresenta igualmente a categoria “Caracterização do lixão” como a que mais influenciou na pontuação final, obtendo 74 pontos. Na sequência seguem as categorias “Meio social” e “Solo e águas subterrâneas” com respectivamente 57 e 55 pontos.

Figura 9 - Pontuação de cada categoria da FAD



Fonte: Própria (2018)

As três questões mais significativas em cada categoria e, portanto, de maior pontuação em cada categoria de cada lixão, estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Questões de maior impacto em cada categoria dos lixões diagnosticado pela FAD.

Lixão	Categoria					
	1. Caracterização do lixão	2. Solo e águas subterrâneas	3. Águas superficiais	4. Meio social	5. Meio natural e paisagens	6. Meio atmosférico
Lixão Municipal de Santa Cruz	Atendimento à resolução CONAMA 404/2008 e NBR 13896/97	Coleta de lixiviados	Distância da zona balneável mais próxima	Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Ocorrência de explosões recentes
	Atividade do lixão	Contaminação das águas subterrâneas comprovada de acordo com a resolução CONAMA n° 396/2008	Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)	Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Dispersão de resíduos no entorno	Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás
	Erosão do lixão	Contaminação do solo comprovada de acordo com a resolução CONAMA n° 420/2008	Poluição das águas constatada por análises valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005	Distância do núcleo populacional mais próximo	Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão	Presença de odores no lixão e/ou entornos
Lixão Municipal da Praia	Adensamento dos resíduos no lixão	Coleta de lixiviados	Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)	Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Presença de odores no lixão e/ou entorno
	Atendimento à resolução CONAMA 404/2008 e NBR 13896/97	Contaminação das águas subterrâneas comprovada de acordo com a resolução CONAMA n° 396/2008	Poluição das águas constatada por análises valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005	Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno	Dispersão de resíduos no entorno	Queima de resíduos
	Atividade do lixão	Contaminação do solo comprovada de acordo com a resolução CONAMA n° 420/2008	Distância da zona balneável mais próxima	Existência de catadores	Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão	Tratamento de gás
Lixão Municipal de Santa Catarina	Adensamento dos resíduos no lixão	Coleta de lixiviados	Uso preponderante da água de superfície	Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Ocorrência de explosões recentes
	Atendimento à resolução CONAMA 404/2008 e NBR 13896/97	Contaminação das águas subterrâneas comprovada de acordo com a resolução CONAMA n° 396/2008	Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)	Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Dispersão de resíduos no entorno	Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás
	Atividade do lixão	Contaminação do solo comprovada de acordo com a resolução CONAMA n° 420/2008	Poluição das águas constatada por análises valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005	Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno	Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão	Presença de odores no lixão e/ou entorno

Fonte: Própria (2018)

## 4.2 CENÁRIOS E TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO

Os cenários e as técnicas de remediação sugeridas pela FAD são ordenadas por pontuações, sendo as maiores, os mais recomendados

para cada lixão diagnosticado. Todos os lixões avaliados demonstraram a necessidade de remediação. Para os lixões dos municípios de Santa Cruz e da Praia, o cenário de remediação sugerido pela FAD, foi o confinamento dos resíduos, uma vez que estes dois lixões estão em locais com restrições ambientais, não atendendo aos requisitos normativos para funcionar como aterro sanitário por período superior a 15 anos. Por terem mais de 30 anos de idade, pressupõe-se que a geração de gases e a lixiviação dos resíduos restantes é relativamente baixa. Outras constatações que corroboraram pelo cenário sugerido foi a predominância de resíduos solidificados devido a mistura com resíduos da construção civil e a existência de solos com alta capacidade de retenção de água nas proximidades do lixão e o clima ser árido ou tendo mais evapotranspiração do que chuvas. Já o lixão do município de Santa Catarina, que não possui restrições conforme a legislação, mas não atende aos critérios normativos para funcionamento como aterro sanitário por período superior a 15 anos, o cenário sugerido pela FAD foi a retirada dos resíduos. Isto é explicado por ter menos de 30 anos de atividades, podendo existir geração de gases e lixiviação dos resíduos em quantidades expressivas.

De acordo com o diagnóstico obtido e a constatação visual destes locais, sugere-se no Quadro 3, os cenários e as tecnologias de remediação que melhor se ajustam aos lixões diagnosticados. O controle da área é uma tecnologia sugerida para esses lixões uma vez que se constatou em todos eles, preocupações relativamente aos processos erosivos. Nestes locais também são necessários o controle do acesso, evitando assim a invasão e a ocupação irregular da área do lixão.

Para diminuir os riscos de explosões devido ao acúmulo do biogás na massa de resíduos, sugere-se a aplicação da ventilação passiva dos gases. Essa escolha deve-se principalmente ao fato de haver emissões de gases em quantidade não muito elevadas. A outra tecnologia sugerida para a remediação dos lixões diagnosticados é o controle das águas subterrâneas com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento. A sua escolha deve-se ao fato de existir a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas no perímetro do lixão. O lixiviado produzido, pode ser uma grande fonte de contaminação dessas águas. Portanto a realização de análise e o monitoramento dos aquíferos localizados nos lixões são fundamentais para salvaguardar esse precioso recurso natural para as ilhas de Cabo Verde.

A melhoria da cobertura existente é uma das tecnologias sugeridas para os três lixões uma vez que se trata de locais situados em regiões de clima árido, portanto com baixa precipitação, onde os resíduos se encontram parcialmente estabilizados e onde se depositam resíduos da construção civil. Para o caso do lixão municipal de Santa Catarina, cujo cenário sugerido foi a retirada dos resíduos, uma das tecnologias proposta é a remoção direta dos resíduos para o aterro sanitário. Para este caso não foi recomendado a melhoria da cobertura existente uma vez que está sendo previsto a retirada dos resíduos do local.

Quadro 3 – Cenários e tecnologias de remediação sugeridas para os lixões da ilha de Santiago, Cabo Verde.

Lixão	Pontuação /Nível de impacto	Cenário de remediação	Tecnologias de remediação
Lixão Municipal de Santa Cruz	394/Médio	Confinamento dos resíduos	Controle da área
			Ventilação passiva dos gases
			Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento (ex.: Paredes de depósito de ferro).
			Melhoria da cobertura existente
Lixão Municipal da Praia	379/Médio	Confinamento dos resíduos	Controle da área
			Ventilação passiva dos gases
			Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento (ex.: Paredes de depósito de ferro).
			Melhoria da cobertura existente
Lixão Municipal de Santa Catarina	279/Médio	Retirada dos resíduos	Remoção direta para aterro sanitário
			Controle da área
			Ventilação passiva dos gases
			Controle da água subterrânea com poços de extração e drenagens de subsuperfície com paredes de suspensão degradáveis ou paredes de tratamento (ex.: Paredes de depósito de ferro).

Fonte: Própria (2018)



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A FAD mostrou ser um importante instrumento de apoio à tomada de decisão, permitindo ao gestor público diagnosticar o lixão bem como escolher, as prioridades no processo de encerramento dos lixões. A rapidez e a facilidade com que os resultados são obtidos são duas das grandes vantagens do uso da FAD na gestão de áreas contaminadas por RSU. A pontuação mais alta do lixão de Santa Cruz, indicando o mesmo como principal prioridade de remediação, corrobora com o entendimento dos órgãos ambientais da região, portanto a FAD foi assertiva no estabelecimento das prioridades de remediação. Para Cabo Verde, onde a maior parte dos municípios ainda depositam resíduos em lixões, esta ferramenta mostrou ser importante para o diagnóstico destes locais, visando sua posterior remediação e adequações. A partir do diagnóstico feito pode-se delinear os próximos passos no encerramento dos lixões da ilha de Santiago. Esta metodologia aqui aplicada pode ser adotada aos demais lixões desta ilha e de outras do arquipélago. Vale ressaltar que este é um diagnóstico preliminar, portanto, se observa a necessidade de obtenção de dados mais precisos sobre:

- Contaminação do solo;
- Contaminação das águas subterrâneas;
- Danos materiais à população residente no lixão e/ou entornos;
- Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entornos;
- Danos aos animais domésticos;
- Ocorrência de explosões recentes;
- Possibilidade de bolsões de gás e/ou migração de biogás.

Além da necessidade dos dados supracitados, é importante que sejam obtidas informações sobre:

- Quantidades de RSU encaminhados a cada lixão;
- Sondagens para a análise do solo, das águas subterrâneas e determinação do nível piezométrico abaixo dos resíduos;
- Ensaios para a determinação da permeabilidade do solo;
- Estimar a quantidade de lixiviado e biogás produzido.

Este trabalho serve de base para o diagnóstico definitivo e posterior recuperação ambiental dos lixões analisados, em que dependendo dos recursos financeiros disponíveis, pode-se seguir as prioridades e as tecnologias de remediação aqui apresentadas. Mostrou ainda que um dos grandes desafios de muitos países africanos, a exemplo de Cabo Verde, no domínio da gestão e do gerenciamento dos resíduos, passa pela criação de meios técnicos e infraestruturas que possam dar suporte ao aumento populacional e de urbanização que tem influência direta na maior produção de RSU. Desta forma, é recomendável que sejam implementadas melhores tecnologias de destinação final dos resíduos no país bem como fomentar as iniciativas que visam reduzir a quantidade de resíduos que são encaminhados a estes locais de disposição final.

O arcabouço legal e normativo que norteiam o setor dos resíduos no país devem ser igualmente melhorados, por forma a se ter uma melhor gestão dos RSU tanto na esfera pública quanto privada. A criação de mecanismos que possam avaliar a qualidade dos serviços prestados também se faz necessário, realçando a necessidade de melhoria contínua nas questões ambientais.

As principais recomendações para trabalhos futuros são:

- Elaborar o diagnóstico definitivo dos lixões, na posse de informações mais precisas sobre os resíduos depositados, as características do solo e águas subterrâneas;
- Aprofundar estudos sobre aplicação prática das técnicas de recuperação propostas para estes lixões;
- Elaborar um Plano de Reabilitação de Área Degradada (PRAD) para os lixões diagnosticados;
- Fazer uma avaliação econômica do processo de encerramento dos lixões diagnosticados;

## REFERÊNCIAS

ABLP. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. **Revista Limpeza Pública**. São Paulo, v. 66, p. 40, 2007. Disponível em: <<http://www.ablp.org.br/revistaPDF/edicao66.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 14001: Sistema de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015. 41 p.

\_\_\_\_\_. **ABR NBR 8419:1992 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004 Resíduos sólidos - Classificação**, 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13896 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ABRELPE. **Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2016**. São Paulo, p. 64, 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2018.

ALBERTE, Elaine Pinto Varela; CARNEIRO, Alex Pires; KAN, Lin. Recuperação De Áreas Degradadas Por Disposição De Resíduos Sólidos Urbanos. **Diálogos & Ciência**, [s. l.], v. 5, p. 15, 2005. Disponível em: <[http://waste.com.br/textos/20-06-2005\\_11-50-14\\_linkan.pdf](http://waste.com.br/textos/20-06-2005_11-50-14_linkan.pdf)>. Acesso em: 8 set 2018.

ARAUJO, Marcelo Guimarães. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. Rio de Janeiro, p. 217, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188525/PEC\\_V1097-T.pdf?sequence=-1](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188525/PEC_V1097-T.pdf?sequence=-1)>. Acesso em: 22 set. 2018.

BARDOS, R. P. et al. **Framework for Decision Support used in contaminated land management in Europe and North America**. NATO/CCMS Pilot Project Phase III, Wiesbaden, p. 30, 2001.



BELI, Euzebio et al. Recuperação da área degradada pelo lixão areia branca de Espírito Santo do Pinhal - SP. **Eng. Ambient. - Espírito Santo do Pinhal**, Espírito Santo do Pinhal – Sp, v. 2, n. 1, p.135-148, 2005. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/264868775>>. Acesso em: 14 maio 2018.

BELLO, Ibrahim Adebayo; BIN ISMAIL, Muhamad Norshafiq; KABBASHI, Nassereldeen A. **Solid Waste Management in Africa: A Review. International Journal of Waste Resources**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 4–7, 2016. Disponível em: <<https://www.omicsonline.com/open-access/solid-waste-management-in-africa-a-review-2252-5211-1000216.php?aid=73453>>. Acesso em: 8 set. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 25 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília. Disponível em: <[bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/.../politica\\_residuos\\_solidos\\_3ed.reimp.pdf?](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/.../politica_residuos_solidos_3ed.reimp.pdf?)>. Acesso em: 13 maio 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, v. 2013, p. 81–84, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 13 maio 2018.

BURLAKOV, Juris et al. Paradigms on landfill mining: From dump site scavenging to ecosystem services revitalization. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 123, p. 73–84, 2017.

BUTT, Talib E.; LOCKLEY, Elaine; ODUYEMI, Kehinde O.k.. Risk assessment of landfill disposal sites – State of the art. **Waste**

**Management**, [s.l.], v. 28, n. 6, p.952-964, 2008. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.012>.

CABO VERDE. Ministério do Ambiente, Habitação e Ordenamento do Território. Agência Nacional de Água e Saneamento - ANAS.  
**Plano Estratégico Nacional de Prevenção e Gestão de Resíduos em Cabo Verde – PENGeR**. Cabo Verde, 155 p. 2016.

CALIJURI, Maria Lúcia; LORENTZ, Juliana Ferreira; MELO, André Luis de Oliveira. Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise Estratégica de Decisão. **Informática Pública** vol. 4, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 231–250, 2002. Disponível em:  
 <[http://www.ip.pbh.gov.br/ANO4\\_N2\\_PDF/ip0402calijuri.pdf](http://www.ip.pbh.gov.br/ANO4_N2_PDF/ip0402calijuri.pdf)>.  
 Acesso em: 8 set 2018.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de et al. Catadores de materiais recicláveis: análise das condições de trabalho e infraestrutura operacional no Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 18, n. 11, p.3115-3124, nov. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232013001100002>.

CASTILHO JUNIOR, Armando Borges de et al. Principais processos de degradação de Resíduos Sólidos Urbanos. In: Projeto PROSAB. **Resíduos Sólidos Urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: Abes, Rima, 2003. Cap. 2. p. 19-50.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas: Projeto CETESB - GTZ Cooperação Técnica Brasil - Alemanha**. São Paulo, 2001.

COELHO, Gláuber Tulio Fonseca; SALES, Layse Lorena Neves. **Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos**. São Luís - Maranhão: ., 2017. 18 p. Disponível em:  
 <[https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo\\_glauber.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_glauber.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.

COELHO, Gláuber Tulio Fonseca; SALES, Layse Lorena Sales. **Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos**. [s. l.], p.18, 2018.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Brasil, 1986.

DANTHUREBANDARA, Maheshi et al. Environmental and socio-economic impacts of landfills. **Linnaeus Eco-tech 2012**, Kalmar, Sweden, p.40-52, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/278738702\\_Environmental\\_and\\_socio-economic\\_impacts\\_of\\_landfills?enrichId=rgreq-2809d86a96a98f055048afab2a839afc-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3ODczODcwMjBUzo0ODcwNjknNjMjQ3MzZAMTQ5MzEzNzc0NzI2Mg==&el=1\\_x\\_3&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/278738702_Environmental_and_socio-economic_impacts_of_landfills?enrichId=rgreq-2809d86a96a98f055048afab2a839afc-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3ODczODcwMjBUzo0ODcwNjknNjMjQ3MzZAMTQ5MzEzNzc0NzI2Mg==&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf)>. Acesso em: 13 maio 2018.

DANTHUREBANDARA, Maheshi et al. Valorization of thermal treatment residues in Enhanced Landfill Mining: Environmental and economic evaluation. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 99, p. 275–285, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.021>>. Acesso em: 13 maio 2018.

DODGSON, J. S. et al. **Multi-criteria analysis : a manual**. [s.l: s.n.]. v. 11, 2009. Disponível em: <[http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria\\_Analysis.pdf](http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf)>. Acesso em: 8 set 2018.

EPA. Environmental Protection Agency. **Landfill manuals - Landfill Site Design**. [s. l.], p. 154, 2000. Disponível em: <[https://www.epa.ie/pubs/advice/waste/waste/EPA\\_landfill\\_site\\_design\\_guide.pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/waste/waste/EPA_landfill_site_design_guide.pdf)>. Acesso em: 8 set. 2018.

EZYSKE, Casey M.; DENG, Yang. Landfill Management and Remediation Practices in New Jersey, United States. In: KUMAR, Dr. Sunil (Ed.). **Management of Organic Waste**. New Jersey, Usa: Hard Cover, 2012. p. 149-166.

FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte, MG, p. 33, 2010. Disponível em: <<http://www.israelpinheiro.org.br/wp-content/uploads/2016/09/Caderno-Técnico-de-Reabilitação-de-Áreas->

Degradadas-por-Resíduos-Sólidos-Urbanos.pdf>. Acesso em: 14 maio. 2018.

FIGUEIRA, José; GRECO, Salvatore; EHRGOTT, Mattias. **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York, EUA. v. 78 Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/Ig174q2323676347>>. Acesso em: 8 set. 2018.

FNR. **Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização**. Gülzow, [s. l.], v. 5, p. 233, 2010. Disponível em: <[http://web-resol.org/cartilhas/giz\\_-\\_guia\\_pratico\\_do\\_biogas\\_final.pdf](http://web-resol.org/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf)>. Acesso em: 8 set. 2018.

FRÄNDEGÅRD, Per et al. A novel approach for environmental evaluation of landfill mining. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 55, n. 55, p. 24–34, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002788?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

GILL, Marc D. et al. **Landfill Remediation Project Manager's Handbook**. Mclean, Virginia: Mitretek Systems, 1999.

GOMES, Juliano Cunha. **Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico e recuperação de áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos**. (Material não publicado, disponibilizado pelo autor). Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.

GOMES, Juliano Cunha. **Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico e recuperação de áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos**. (Material não publicado, disponibilizado pelo autor). Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.

GOMES, Luciana Paulo et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 449–462, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522015000300449&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000300449&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 31 ago. 2018.

GROSSO, Mario; BIGANZOLI, Laura; RIGAMONTI, Lucia. A quantitative estimate of potential aluminium recovery from incineration bottom ashes. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 55, n. 12, p. 1178–1184, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.08.001>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

HOGLAND, William. Remediation of an old landfill site. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 9, n. S1, p. 49–54, 2002. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02987426>>. Acesso em: 8 set. 2018.

HOGLAND, William; MARQUES, Marcia; NIMMERMARK, Sven. Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 119–120, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10163-003-0110-x>>. Acesso em: 8 set. 2018.

HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz. **What a waste: A global review of Waste Management**. Urban Development Series Knowledge papers, [s. l.], v. 15, p. 116, 2012. Disponível em: <[http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid\\_Waste/Key\\_resources/What\\_Waste\\_Global\\_Review\\_\\_2012.pdf](http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid_Waste/Key_resources/What_Waste_Global_Review__2012.pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2018.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

INE. **Anuário Estatístico Cabo Verde 2016**. Praia, Cabo Verde, 2017.

JARAMILLO, Jorge. **Guia para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales**. [s. l.], 1991.

JONES, Peter Tom et al. Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 55, p. 45–55, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002442>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

JOSEPH, Kurian et al. **A Decision Making Tool for Dumpsite Rehabilitation in Developing Countries**. Chennai, Índia, n. April, 2016.

JOSEPH, Kurian et al. **Dumpsite reahabilitation manual**. Chennai, Índia, 2010. 139 p. Disponível em: <[https://www.elaw.org/system/files/Dumpsite Rehabilitation Manual.pdf](https://www.elaw.org/system/files/Dumpsite%20Rehabilitation%20Manual.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.

JOSEPH, Kurian; VISVANATHAN, C. Dumpsite Rehabilitation. **National Solid Waste Association Of India**, Chennai, India, p.1-14, 2015. Disponível em: <[http://www.nswai.com/Waste\\_Portal2/Research\\_papers/pdf/rp\\_jun15/Dumpsite\\_Rehabilitation.pdf](http://www.nswai.com/Waste_Portal2/Research_papers/pdf/rp_jun15/Dumpsite_Rehabilitation.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.

LONGARAY, André Andrade et al. **Análise multicritério de decisão e sua aplicação na gestão da saúde: uma proposta de revisão sistemática da literatura**. Exacta, Rio Grande, RS, v. 14, n. 4, 2016. Disponível em: <<https://www4.uninove.br/ojs/index.php/exacta/article/view/6490>>. Acesso em: 25 set. 2018.

MASI, S. et al. Assessment of the possible reuse of MSW coming from landfill mining of old open dumpsites. **Waste Management**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 702–710, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.013>>. Acesso em: 7 set. 2018.

MAVROPOULOS, Alexandros et al. **Waste Atlas: The world's 50 biggest dumpsites**. [s. L.]: D-waste, 2014. 119 p. Disponível em: <<http://www.atlas.d-waste.com/Documents/Waste-Atlas-report-2014-webEdition.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2018.

MAVROPOULOS, Antonis. **Wasted health-The Tragic case of dumpsites**. Igarss 2014, [s. l.], p. 37, 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario.html>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

MONTEIRO, José Henrique Penido et al. **Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAVIA, Wagner Guadagnin. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas**. [s. l.], p. 262, 2010.

MOREIRA, Ailton João Gonçalves et al. Aplicação de ferramenta de apoio à decisão para diagnóstico e recuperação dos lixões de RSU na Ilha de Santiago – Cabo Verde. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 7, n. 3, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, p.365-378, ago. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: 11 out 2018.

NAFI, Amir; WEREY, Caty. **Aide à la décision multicritère : Introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type ELECTRE**. Cours ENGEES Module Ingénierie financière, [s. l.], p. 1–21, 2010.

OBLADEN, Nicolau Leopoldo; OBLADEN, Neiva Terezinha Ronsani; BARROS, Al. Kelly Ronsani De. **Guia para elaboração de projetos de aterros sanitarios para Resíduos Sólidos Urbanos**. Paraná. Série de Publicações Temáticas do Crea-pr, v. 2, 2009.

OKOT-OKUMU, James. **Solid Waste Management in African Cities – East Africa**. Creative Commons, [s. l.], v. 57–72, n. Liyala 2011, p. 3–20, 2011.

PETER, Anju Elizbath; NAGENDRA, S.m. Shiva; NAMBI, Indumathi M.. Comprehensive analysis of inhalable toxic particulate emissions from an old municipal solid waste dumpsite and

neighborhood health risks. **Elsevier: Atmospheric Pollution Research**, Chennai, Índia, p.1-11, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104217304774?via=ihub>>. Acesso em: 10 maio 2018.

PORFÍRIO, Bianca; GOMES, Julio; JANISSEK, Paulo Roberto. Avaliação de risco à saúde humana do aterro controlado de Morretes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 441–452, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522014000400441&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000400441&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 22 set. 2018.

PORTELLA, Márcio Oliveira; RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. Aterros sanitários: : aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Direito Ambiental e Sociedade**, Belo Horizonte - Mg, v. 4, n. 1, p.115-134, 2014. Disponível em: <<http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3687/2110>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

RAMOS, Naiara Francisca et al. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1233–1241, dez. 2017.

RAMOS, Naiara Francisca. **Proposição de metodologia para Apoio à Decisão para a recuperação de área degradada por disposição irregular de resíduos sólidos urbanos**. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2016.

RECESA (Org.). **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Guia do profissional em treinamento Nível 2**. Belo Horizonte: Sigma, 2008. 120 p.

REICHERT, Geraldo Antônio. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**. [s.l: s.n.]. 2007.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>>. Acesso em: 25 set. 2018.



SANKOH, Foday Pinka; YAN, Xiangbin; TRAN, Quangyen. Environmental and Health Impact of Solid Waste Disposal in Developing Cities: A Case Study of Granville Brook Dumpsite, Freetown, Sierra Leone. **Journal of Environmental Protection**, [s.l.], v. 4, n. July, p. 665–670, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.47076>%5Cnhttp://www.scirp.org/journal/jep>. Acesso em: 21 set. 2018.

SULLIVAN, Terry. **Evaluating Environmental Decision Support Tools**. Upton, Ny: Brookhaven Science Associates, Llc, 2002. 53 p.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Greenhouse Gas Overview**. 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/enviro/greenhouse-gas-overview>>. Acesso em: 15 maio 2018.

VAN ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira. **Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro: Ibam, 2007. 39 p. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_publicacao/125\\_publicacao12032009023918.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2018.

VOUTSA, D.; GRIMANIS, A.; SAMARA, C.. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 94, n. 3, p.325-335, 1996. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749196000887>>. Acesso em: 13 maio 2018.

WILLIAMS, Paul T. **Waste Treatment and Disposal**. 2. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Resources: Waste to Energy | 2016**. [s.l: s.n.]. 2016. Disponível em: <[https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_Waste\\_to\\_Energy\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Waste_to_Energy_2016.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2018.

ZANTA, Viviana Maria; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves.  
Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: PROSAB,  
Projeto. **Resíduos Sólidos Urbanos: aterro sustentável para  
municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: Abes, Rima, 2003.  
Cap. 1. p. 1-18.



## **ANEXO A – Questionário de campo para diagnóstico de lixões**

### **Legislações necessárias para o preenchimento do questionário:**

Lei 9985/2000  
Plano Diretor Municipal  
NBR 13.896/1997  
NBR 10.004/2004  
CONAMA 420/2009  
CONAMA 396/2008  
CONAMA 357/2005

### **Informações e análises requeridas antes da visita**

Acumulado de chuva nas últimas 24 h anteriores à visita  
Atlas pluviométrico do Brasil (disponível no site do CPRM)  
Nível piezométrico abaixo dos resíduos  
Tipo de solo e permeabilidade  
Análise de solo segundo CONAMA 420/2009  
Análise de água subterrânea segundo CONAMA 396/2008  
Análise de águas superficiais segundo CONAMA 357/2005  
Mapa de solos da região  
Mapa dos recursos hídricos da região  
Levantamento topográfico, investigação geológica, geotécnica e hidrogeológica;  
Composição gravimétrica do lixo  
Representação em planta planialtimétrica, em escala não inferior a 1:2.000, do uso do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais num raio mínimo de 200 m;  
Relatórios de avaliação preliminar e confirmatória de passivo ambiental em solo e água subterrânea, conforme ABNT NBR 15515-1 e 15515-2, para saber se há contaminação.

Identificação e caracterização da área	
Denominação do local:	
Endereço:	
Distrito/Bairro:	
CEP:	
Município / UF:	
Orçamento inicial:	
Latitude / Longitude:	
Folha topográfica:	
Coordenadas UTM:	
Datum/MC:	
Bacia Hidrográfica:	
Data da visita:	
Início atividades lixão:	
Fim atividades lixão:	
Enquadramento da área (plano diretor):	
Uso futuro da área:	
Proprietário terreno:	
Nome/função informantes:	
Nome/funções acompanhantes:	

#### Condições meteorológicas no dia da visita:

- ( ) Sol
- ( ) Sol com algumas nuvens      Intensidade e direção dos ventos: \_\_\_\_\_
- ( ) Sol com muitas nuvens
- ( ) Totalmente encoberto
- ( ) Chuva      Acumulado de chuva nas últimas 24h: \_\_\_\_\_

### Situações

1. Ocorre em local com restrição conforme a legislação? ( ) Sim ( ) Não
2. Ocorre em área urbana ou rural? ( ) Urbana ( ) Rural
3. Ocorre em talvegue, que poderia intermitente? ( ) Sim ( ) Não
4. Ocorre em região de várzea pântano ou mangue? ( ) Sim ( ) Não
5. Quantidade de corpos hídricos na área do lixão e/ou até num raio de 200 m? (Ex.: 2) ( )
6. Ocorre em área industrial? ( ) Sim ( ) Não

## 1. CARACTERIZAÇÃO DO LIXÃO

### 1.1 Área do lixão

- a) ( )  $< 5.000 \text{ m}^2$
- b) ( )  $> 5.000 \text{ m}^2 < 50.000 \text{ m}^2$
- c) ( )  $\geq 50.000 \text{ m}^2 \leq 500.000 \text{ m}^2$
- d) ( )  $> 500.000 \text{ m}^2$

### 1.2 Atividade do lixão

- e) ( ) Lixão fechado há mais de 20 anos
- f) ( ) Lixão fechado num tempo entre 10 e 20 anos
- g) ( ) Lixão fechado há menos de 10 anos
- h) ( ) Ainda em atividade

### 1.3 Acidentes e eventos importantes no lixão

- a) Adensamento dos resíduos (recalque) ( ) Não ( ) Sim
- b) Deslizamento ( ) Não ( ) Sim
- c) Erosão ( ) Não ( ) Sim
- d) Outros ( ) Não ( ) Sim

Quais? \_\_\_\_\_

### 1.4 Espessura da camada de resíduos

- a) ( )  $< 2 \text{ m}$
- b) ( )  $> 2 < 10 \text{ m}$
- c) ( )  $\geq 10 \text{ m}$
- d) ( ) dado não existente

### 1.5 Classificação dos resíduos NBR 10004/2004 (múltipla escolha)

- a) ( ) Resíduos inertes - classe II B
- b) ( ) Resíduos não inerte - classe II A
- c) ( ) Resíduos perigosos - classe I

Quais? \_\_\_\_\_

**1.6 Existe parcela significativa de resíduos classe A, B e C da construção civil, (CONAMA 307/2002)?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

**1.7 A maior parte dos resíduos está estabilizada?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

**1.8 Impermeabilização superior**

- a) ☐ Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais e emissão de gases
- b) ☐ Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997, portanto, não sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais dentro do solo ou apenas parcial
- c) ☐ Inexistente

**1.9 Pluviometria**

- a) ☐ 0 – 800 mm/ano (baixa)
- b) ☐ 800 – 1500 mm/ano (significativa)
- c) ☐ 1500 – 2300 mm/ano (alta)
- d) ☐ mais que 2300 mm/ano (excessiva)

**1.10 Declividade do terreno natural**

- a) ☐ 0 – 3% (plano)
- b) ☐ 3 – 8% (ligeiramente ondulado)
- c) ☐ 8 – 20% (ondulado)
- d) ☐ 20 – 45% (fortemente ondulado)
- e) ☐ 45 – 75% (montanhoso)
- f) ☐ 75 – 100% (escarpado)

**1.11 A área do lixão atende os critérios da NBR 13896:1997 e da resolução CONAMA 404/2008, possibilitando seu uso por período superior a 15 anos?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

**1.12 Há evidências de zonas mais poluídas que outras (hotspots)?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim

**1.13 Qual o volume estimado dos hotspots?**

- a) ☐ < 10.000 m<sup>3</sup> (volume pequeno)
- b) ☐ >= 10.000 m<sup>3</sup> <= 500.000 m<sup>3</sup> (volume médio)
- c) ☐ > 500.000 m<sup>3</sup> (volume grande)

**1.14 Caso a resposta 1.12 seja “Sim”. Os resíduos dos hotspots representam algum tipo de ameaça (ex.: tóxico, móvel, volátil, contaminante)?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim

## **2. SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

### **2.1 Impermeabilização inferior**

- a) ☐ Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo, portanto, apropriada para impedir a infiltração de lixiviados
- b) ☐ Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997
- c) ☐ Inexistente
- d) ☐ Dado não existente

### **2.2 Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos**

- a) ☐ Não se constata visualmente a presença de lixiviados
- b) ☐ Presença de fluxo de lixiviados após forte chuva
- c) ☐ Presença visível e constante de lixiviados

### **2.3 Existe coleta de lixiviados?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Parcial
- c) ☐ Não

### **2.4 Existe tratamento de lixiviados?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Sim, mas não adequado
- c) ☐ Não

**2.5 O material disponível na região para ser usado como cobertura possui coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do lixão?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

### **2.6 Natureza do solo sob o lixão**

- a) ☐ Solo predominantemente argiloso
- b) ☐ Solo predominantemente silteoso
- c) ☐ Solo predominantemente arenoso

### **2.7 Permeabilidade do solo onde está localizado o lixão**

- a) ☐ Inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s
- b) ☐  $5 \times 10^{-4}$  cm/s
- c) ☐ Maior que  $5 \times 10^{-4}$  cm/s

### **2.8 Nível piezométrico abaixo dos resíduos**

- a) ☐  $> 3$  m



- b) ☐ 1,5 – 3 m
- c) ☐ < 1,5 m

**2.9 Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5m**

- a) ☐ Resíduos fora do contato com a água subterrânea
- b) ☐ Resíduos parcialmente banhados
- c) ☐ Resíduos banhados

**2.10 Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão**

- a) ☐ Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde está o lixão ou em sua proximidade
- b) ☐ Ausência de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde o lixão está, mas presente nas proximidades
- c) ☐ Presença de falhas, fraturas ou carstificação intensa no terreno onde está o lixão

**2.11 Contaminação do solo comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA N° 420/2009**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim
- c) ☐ dado não existente

**2.12 Contaminação das águas subterrâneas comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA N° 396/2008 conforme uso preponderante das águas subterrâneas?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim
- c) ☐ dado não existente

**2.13 Caso a resposta da questão 2.11 ou 2.12 seja “Sim”: De maneira geral, o volume de contaminante é pequeno?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

**2.14 Distância de um ponto de alimentação de água potável de uso doméstico**

- a) ☐ > 200 m
- b) ☐ 100-200 m
- c) ☐ < 100 m
- d) ☐ Desconhecida

**2.15 Distância de um ponto de alimentação de água para o abastecimento público**

- a) ☐ > 200 m
- b) ☐ 100-200 m

- c) ☐ <100 m

**2.16 Uso preponderante da água subterrânea da área ou entorno diretamente afetado pela presença do lixão**

- a) ☐ Não utilizada  
b) ☐ Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial;  
c) ☐ Abastecimento humano

**3. ÁGUAS SUPERFICIAIS**

**3.1 Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso doméstico**

- a) ☐ > 200 m  
b) ☐ 100-200 m  
c) ☐ <100 m  
d) ☐ Desconhecida

**3.2 Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)**

- a) ☐ Classe IV  
b) ☐ Classe III  
c) ☐ Classe II  
d) ☐ Classe I  
e) ☐ Classe especial

**3.3 Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo**

- a) ☐ > 200 m  
b) ☐ 100-200 m  
c) ☐ <100 m

**3.4 Distância de um ponto de alimentação de água para abastecimento público**

- a) ☐ > 200 m  
b) ☐ 100-200 m  
c) ☐ <100 m

**3.5 Distância da zona balneável mais próxima**

- a) ☐ > 200 m  
b) ☐ 100-200 m  
c) ☐ <100 m

**3.6 Distância de nascente d'água mais próxima**

- a) ☐ > 500 m  
b) ☐ 200 - 500 m  
c) ☐ < 200 m

**3.7 Uso preponderante da água de superfície**

- a) ☐ Não é utilizada
- b) ☐ Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
- c) ☐ Abastecimento humano

**3.8 Poluição das águas, constatada por análises – valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim

**4. MEIO SOCIAL****4.1 Densidade populacional dentro de um raio de 500 m**

- a) ☐ <10 residências
- b) ☐ 100 - 10 residências
- c) ☐ >100 residências

**4.2 Há presença de hospital, creche, escola ou asilo na área do lixão ou num raio de 500 m?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim

**4.3 Distância do núcleo populacional mais próximo**

- a) ☐ > 500 m
- b) ☐ < 500 m
- c) ☐ Há aglomeração humana sobre o terreno do lixão ou imediatamente ao lado

**4.4 Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente

**4.5 Utilização da área ou no entorno para atividades de lazer**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente

**4.6 Zona de isolamento físico do lixão**

- a) ☐ Zona isolada com barreira de proteção e vigiada
- b) ☐ Zona isolada com barreira de proteção mas não vigiada
- c) ☐ Zona não isolada e não vigiada

**4.7 Presença de animais no lixão**

- a) ☐ Insetos
- b) ☐ Roedores

- c) ☐ Escorpiões
- d) ☐ Urubus
- e) ☐ Outras aves – Quais? \_\_\_\_\_
- f) ☐ Outros animais - Quais? \_\_\_\_\_

**4.8 Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente
- d) ☐ Dado não disponível

**4.9 Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente
- d) ☐ Dado não disponível

**4.10 Existência de catadores**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim

**5. MEIO NATURAL E PAISAGENS**

**5.1 Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão**

- a) ☐ > 10 m
- b) ☐ < 10 m
- c) ☐ Não há barreira vegetal

**5.2 Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante**

- a) ☐ > 500 m
- b) ☐ 251 - 500 m
- c) ☐ < 250 m
- d) ☐ Desconhecida Qual? \_\_\_\_\_

**5.3 Existe desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim
- c) ☐ Dado não existente

**5.4 Há dispersão de resíduos no entorno?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim

**5.5 Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um mangue ou pântano?**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim
- c) ☐ Dado não existente
- d) ☐ Não se aplica

**5.6 Danos aos animais domésticos e/ou selvagens**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim
- c) ☐ Dado não existente

**5.7 O clima da região é árido ou semiárido?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

**5.8 A região tem mais evapotranspiração do que chuvas?**

- a) ☐ Sim
- b) ☐ Não

**6. MEIO ATMOSFÉRICO****6.1 Presença de odores no lixão e/ou entorno**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente

**6.2 Ocorrência de explosões recentes**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente
- d) ☐ Dado não disponível

**6.3 Queima de resíduos**

- a) ☐ Nunca
- b) ☐ Às vezes
- c) ☐ Frequentemente

**6.4 Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás**

- a) ☐ Não
- b) ☐ Sim
- c) ☐ Dado não existente

**6.5 Existe coleta de gás?**

- a) ☐ Sim, em toda área
- b) ☐ Sim, parcialmente
- c) ☐ Não
- d) ☐ Dado não existente

**6.6 Existe de tratamento de gás?**

- a) ☐ Sim, em toda área
- b) ☐ Sim , parcialmente
- c) ☐ Não